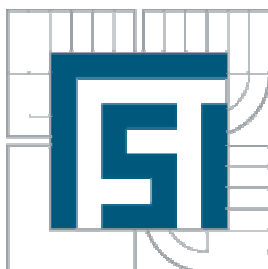




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

STUDIE POHONU ELEKTROMOBILU

ANALYSIS OF TRACTION DRIVE FOR FULL ELECTRIC VEHICLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR MATELA

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. MARTIN SOLAŘ

BRNO 2011

Bibliografická citace

MATELA, P. *Studie pohonu elektromobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Solař.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Matela

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Studie pohonu elektromobilu

v anglickém jazyce:

Analysis of traction drive for full electric vehicle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nejlevnější přestavba spalovacího automobilu na elektromobil je výměnou spalovacího motoru za elektromotor. Elektromotor má lepší průběh momentu než spalovací motor a proto je třeba zvážit jaké převodové poměry zvolit. Technické podklady k přestavbě poskytne firma EVC Group s.r.o.

Cíle bakalářské práce:

Porovnat kinematické a dynamické vlastnosti elektromobilu s pevným převodem a dvěmi řazenými převodovými stupni při stejném výkonu motoru.

Seznam odborné literatury:

- www.infozdroje.cz
- Marek, Jiří, MM Průmyslové spektrum: Konstrukce CNC obráběcích strojů. 2006. Speciální vydání. Dostupný z WWW: <www.mmspektrum.com>. ISSN 1212-2572.
- BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 1986. 145 s. ISBN 55-600-86.

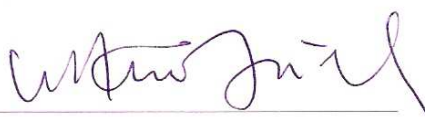
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Solař

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.


V Brně, dne 26.11.2010



doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je zpracování odborné rešerše a výpočet dynamiky vozu s různými motory. První část bakalářské práce obsahuje úvod do elektromobilů a krátkou historii elektromobilismu. Navazuje popsání výhod a nevýhod elektromobilů, jejich současná podoba a zdroje energie. Hlavním výsledkem práce jsou výpočty dynamických vlastností vozu se třemi typy motorů a jejich porovnání.

Klíčová slova

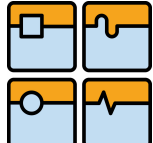
pohon, elektromobil, elektromotor, rychlost, zrychlení, motor

Abstrakt

The subject of my bachelor's thesis is research and computations of the dynamics of different types of engines. The first part of it is devoted to theoretical introduction to electromobilism and electro mobiles history. The rest is about benefits and problems of electro mobiles, their current state and available energy sources. In the conclusion of this thesis there are all necessary calculations and the dynamics of three different engine types is solved and compared.

Key words

drive, elektromobile, electric motor, speed, acceleration, motor


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy a poučeními pro vypracování bakalářské práce a že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem použil v této práci jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Jsem si vědom toho, že v případě nedodržení předpisů a ustanovení nebude vedoucím bakalářské práce moje práce přijata.

V Brusném dne 16.5.2011

.....
Petr Matela

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Poděkování


Děkuji své rodině a zejména svým rodičům za projevenou morální a finanční podporu, pochopení v době mého studia.

Dále děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Solařovi za zadání tématu bakalářské práce a odborné konzultace, rady a připomínky, týkající se obsahové a formální úpravy práce. Děkuji také panu Ing. Pavlu Ramíkovi z ústavu automobilního a dopravního inženýrství za odbornou pomoc při řešení určitého problému.

V neposlední řadě děkuji firmě EVC Group s.r.o za poskytnutí technických podkladů.

OBSAH

Abstrakt.....	5
Místopřísežné prohlášení	6
Poděkování	7
1. ÚVOD.....	10
1.1 CÍL PRÁCE	10
2. ELEKTROMOBILY – TEORETICKÝ ÚVOD	11
3. HISTORIE ELEKTROMOBILŮ	13
3.1 POČÁTEK HISTORIE ELEKTROMOBILŮ	13
3.2 HISTORIE ELEKTROMOBILŮ V ČR	14
3.3 HISTORIE ELEKTROMOBILŮ V ZAHRANIČÍ	17
4. VÝHODY A NEVÝHODY, SOUČASNÁ PODOBA ELEKTROMOBILŮ	21
4.1 PŘEDNOSTI ELEKTROMOBILŮ	21
4.2 SPORTOVNÍ PODOBA ELEKTROMOBILŮ	22
4.3 ELEKTROMOBILY DNEŠNÍ DOBY	23
4.4 PROJEKT ELEKTROMOBILU ŠKODA SUPERB	25
5. ZDROJE ENERGIE	28
5.1 HISTORICKÉ AKUMULÁTORY	28
5.2 AKTUÁLNÍ AKUMULÁTORY	28
5.2.1 LiFePO ₄	28
5.2.2 LiFeYPO ₄ a LiFeMgPO ₄	28
5.2.3 Li-Ion akumulátory, Li-Pol akumulátory	28
5.3 AKUMULÁTORY BUDOUCNOSTI	29
5.3.1 Lithiové akumulátory s nanotechnologií	29
5.3.2 Akumulátor kov - vzduch	29
5.3.3 Superkapacitory	29
6. VÝPOČTOVÁ ČÁST ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	30
6.1 VÝPOČET DYNAMIKY MOTORU 1.4 TSI/92 kW	30
6.1.1 Výpočet odporových sil automobilu s motorem 1.4 TSI/92 kW	31
6.1.2 Výpočet hnací síly automobilu s motorem 1.4 TSI/92 kW	32
6.1.3 Výpočet zrychlení automobilu s motorem 1.4 TSI/92 kW	33
6.1.4 Časový průběh rychlosti automobilu při rozjezdu.....	33

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

6.2 VÝPOČET DYNAMIKY MOTORU 2.0 TDI PD DPF/103 kW	34
6.2.1 Výpočet odpor. sil automobilu s motorem 2.0 TDI PD DPF/103 kW	35
6.2.2 Výpočet hnací síly automobilu s motorem 2.0 TDI PD DPF/103 kW	36
6.2.3 Výpočet zrychlení automobilu s motorem 2.0 TDI PD DPF/103 kW	36
6.2.4 Časový průběh rychlosti automobilu při rozjezdu	37
6.3 VÝPOČET DYNAMIKY ELEKTROMOTORU	38
6.3.1 Výpočet odporových sil automobilu s elektromotorem	39
6.3.2 Výpočet hnací síly automobilu s elektromotorem	40
6.3.3 Výpočet zrychlení automobilu s elektromotorem	41
6.3.4 Časový průběh rychlosti automobilu při rozjezdu	41
6.4 POROVNÁNÍ VŠECH TŘÍ TYPŮ MOTORŮ	42
7. ZÁVĚR	44
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	46
9. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	48

1. ÚVOD

Na úvod by měla být položena otázka. Co je to vlastně elektromobil? Elektromobil je vozidlo, které je poháněno čistě elektrickou energií. První experimentální vozítka spatřily světlo světa už v polovině 18. století. Koncem 19. století vynikal elektromobil nad spalovacími motory té doby svojí tichostí, bezpečností a hlavně spolehlivostí. Po této době ale nastal útlum ve vývoji elektromobilů vlivem nástupu sériové výroby automobilu modelové řady „T“ poháněný spalovacím motorem od společnosti Ford. Až vývoj a nové poznatky v oblasti akumulátorů, snaha o ekologické myšlení a postupně se snižující zásoby nerostného bohatství (fosilních paliv) nastartovalo opět vývoj elektromobilů.

V současné době, kdy se zásoby fosilních paliv rok od roku zmenšují a ropa dosáhla magické hranice 100 dolarů za barel, se velké automobilky začaly výrazně zabývat vývojem automobilů na elektrický pohon, které by byly schopny postupně nahrazovat spalovací motory. Na letošním ženevském autosalonu se velké automobilky zavázaly, že do roku 2013 by chtěly mít vedle sériové produkce automobilů se spalovacím motorem také automobil, který bude čistě poháněný elektrickou energií. Nevýhodou je ale potřeba častěji dobíjet akumulátory umístěné v automobilu. Plně nabitá baterie nejsou schopny ujet takovou vzdálenost, jak automobil poháněný spalovacím motorem. S tím také souvisí nedostatek registrovaných dobíjecích stanic v ČR. Pořizovací cena nového elektromobilu je rovněž vyšší než u automobilu se spalovacím motorem. Ale existuje možnost přestavby auta se spalovacím motorem na elektromobil, kde náklady spojené s přestavbou se do několika let vrátí. Jedna z firem, která provádí tyto úpravy je EVC Group s.r.o.

Je ale na škodu, že stát nijak velice nepodporuje např. dotacemi koupi nebo úpravu a provoz tohoto vozu, jak je tomu v západních zemích. Můžeme jenom doufat, že se tento stav v budoucích letech zlepší.

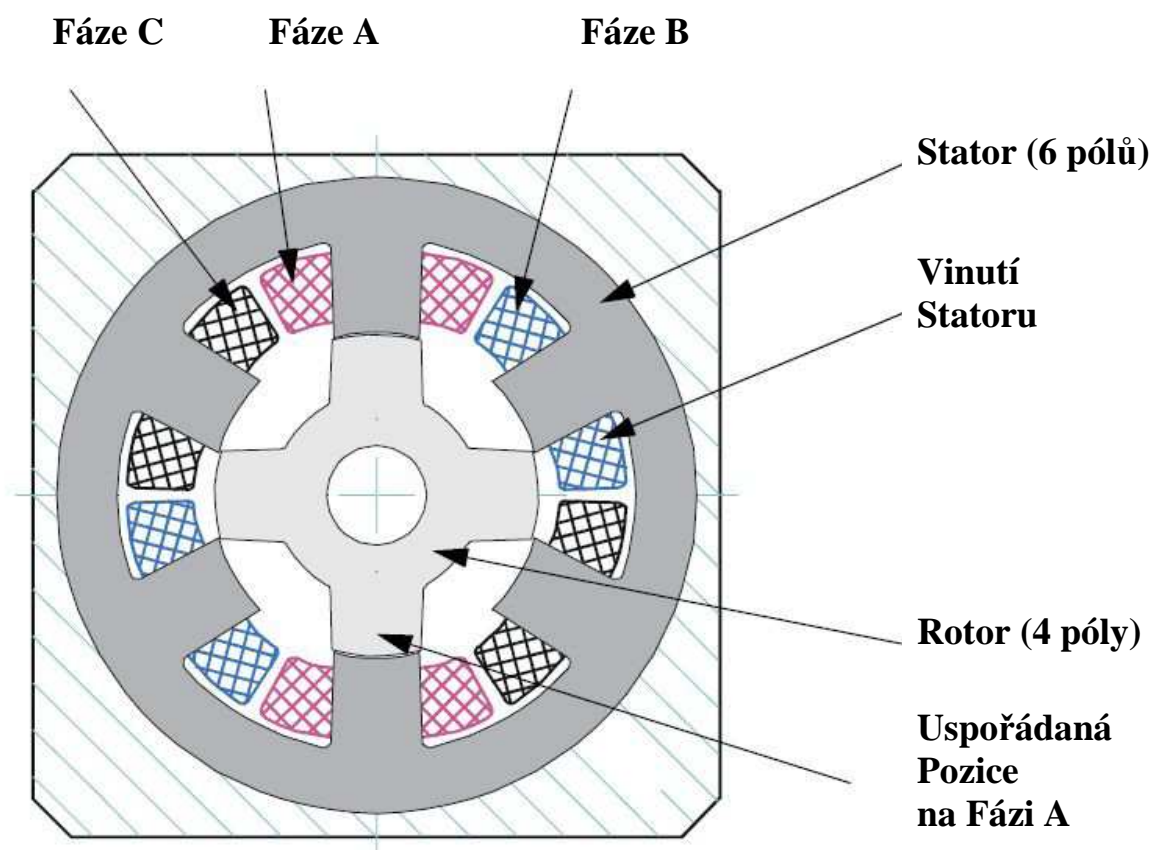
1.1 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zmapovat historický vývoj elektromobilů od jejich počátků až po současnost v ČR a ve světě a dále zmapování používaných zdrojů energie v minulosti, dnešní době a blízké budoucnosti. Cílem praktické části této práce je porovnání dynamických a kinematických vlastností elektromobilu a automobilu se zážehovým nebo vznětovým motorem. Každý motor bude při výpočtu vycházet ze stejných převodových poměrů převodovky, tak aby došlo k maximální porovnatelnosti. Výpočty budou aplikovány na přestavbu vozu Škoda Superb, který je projektem VUT Brno pod názvem SUPERBEL.

2. ELEKTROMOBILY – TEORETICKÝ ÚVOD

Elektromobily jsou vozidla poháněná elektromotory, které jsou napájeny akumulátory umístěnými ve vozidle. Pro elektromobil je hlavním limitujícím prvkem velikost elektrické energie (kapacita akumulátoru), kterou má vozidlo uloženou v akumulátorech.

Hnací jednotka elektromobilu je v podstatě zmenšená varianta elektrického pohonu trolejových dopravních prostředků, jako jsou například vlaky, tramvaje dále se to využívá v metru a v neposlední řadě trolejbusy. Nejčastěji používají stejnosměrné komutátorové motory, stejnosměrné motory s elektronickou komutací (BLDC) a střídavé synchronní nebo asynchronní motory, doplněné frekvenčním měničem. Reluktanční motory se dosud nepoužívají (alespoň o tom nemám zprávy, možná ve vojenské technice), přestože se v literatuře uvádí, že s reluktančními motory se pro elektrickou trakci počítá. Mají totiž vlastnosti, které je pro použití v elektrických vozidlech přímo předurčují: jednoduchou konstrukci, vysokou mechanickou odolnost, vysokou účinnost, vysoký výkon v poměru k hmotnosti a v neposlední řadě velký záběrový moment. Jediným, avšak řešitelným nedostatkem je jejich vyšší hlučnost. Princip reluktančního motoru je velmi jednoduchý a je zřejmý z následujícího obrázku, kde je nakreslena trojfázová verze motoru. [3]

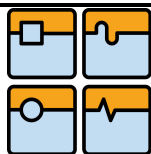


Obr. 1 Schéma trojfázového spínacího reluktančního motoru [3]

Jako nejvýhodnější pohonná jednotka elektromobilu se jeví synchronní bezkomutátorový motor s permanentními magnety. Toto řešení umožňují především nové technologie výroby permanentních magnetů ze zvláštních zemin, nejčastěji se jedná o slitiny, jako např. neodym - železo - bor nebo samarium - kobalt, které dosahují vysoké hodnoty magnetického sycení. Synchronní motor s permanentními magnety má ve srovnání s asynchronním motorem vyšší krouticí moment vztažený na hmotnost stroje, menší moment setrvačnosti, menší oteplení a vyšší momentovou přetížitelnost.



Obr. 2 3-fázový synchronní bezkomulátorový elektromotor [23]



3. HISTORIE ELEKTROMOBILŮ

3.1 POČÁTEK HISTORIE ELEKTROMOBILŮ

Myšlenka pohánět vozidlo elektrickou energií je velice stará a sahá až do počátku 18. století, přesněji v roce 1828, kdy Slovák Štefan A. Jedlík sestavil první model s elektromotorem, ale první prakticky využitelný elektromotor byl sestaven v roce 1834 v Rusku. Mezi roky 1832 – 1839 sestavil skotský obchodník Robert Anderson první elektrické vozidlo.

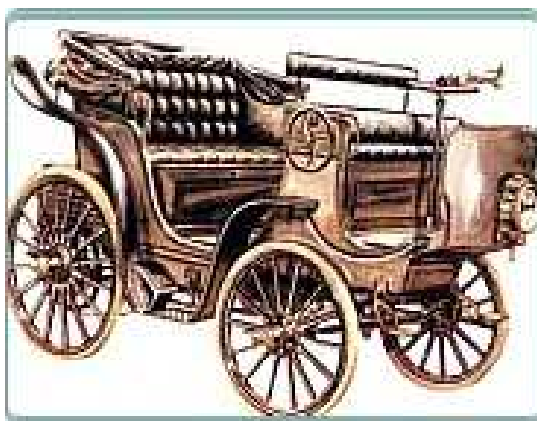
V roce 1835
holandský profesor
Sibrandus Stratingh
z Groningen navrhl malý
elektromobil, který byl
poté sestaven jeho
asistentem
Christopherem
Beckerem. [2]



Obr. 3 Elektromobil prof. Sibrandus Stratingh [2]

Vůbec první silniční vozidlo, které v soutěži prokazatelně překonalo rychlost 100 km/h, byl elektromobil Belgičana Camilla Jenatzyho v roce 1899. Elektromobil Torpédo KID dosáhl v roce 1902 dokonce rychlosti téměř 170 km/h. V této době již také jezdila auta se spalovacím motorem, žádné však nebylo tak tiché, bezpečné a spolehlivé jako elektromobil, o rychlosti výše uvedené ani nemluvě. [1]

Prvním Čechem, který se zabýval elektromobily byl Ing. František Křižík, který postavil v roce 1895 svůj první elektromobil poháněný stejnosměrným elektromotorem o výkonu 3,6 kW, druhý realizovaný typ byl opatřen v každém zadním kole elektromotorem 2,2 kW. Třetí vůz jím postavený měl hybridní pohon pro prodloužení dojezdu.



Obr. 4 Elektromobil Ing. Františka Křižíka [2]

V USA jezdilo v roce 1900 víc elektromobilů než vozů se spalovacím motorem a dosahovaly velké obliby pro jednoduchost ovládání. V tomto roce bylo vyrobeno o třetinu více elektromobilů než automobilů. Zásadní zvrat ale přinesl velký Fordův nápor zavedením sériové výroby modelu „T“. Od této doby byl elektromobil na dlouhou dobu vytlačen z výroby a tím se přestal i vyvíjet. [1]

3.2 HISTORIE ELEKTROMOBILŮ V ČR

První, kdo se zabýval elektromobily u nás byl Ing. František Křížík, který už zde byl jednou zmíněn.

Větší zájem o elektromobil přinesla až ropná krize kolem roku 1965, i když v mezidobí došlo k ojedinělým pokusům o jejich využití, jako například během první světové války, kdy Škodovy závody v Plzni vyrobily několik nákladních elektromobilů pro plzeňské pivovary. Podobně majitel elektrotechnické továrny ve Vsetíně pan Josef Soušedník si pro svou potřebu zkonstruoval ve třicátých letech 20. století elektromobil velmi pokrokové konstrukce opět s elektromotory, které byly opět přímo v kolech, jímž dojížděl do závodu. Nejenom ropná krize, ale i nepříznivý vývoj životního prostředí zejména v centrech velkých měst vedlo k tomu, že naše státní orgány pověřily některé organizace vývojem a vyrobením vzorku elektromobilu. Těmito pověřenými organizacemi byly například VÚES (dříve Výzkumný ústav elektrických strojů) v Brně spolu s brněnským Vysokým učením technickým vytvořili mezi roky 1969 – 1972 dva dodávkové prototypy, dále pak to byl ústav silniční a městské dopravy v Praze, který se zabýval přestavbou automobilu F127. Toto vozidlo bylo podrobeno rozsáhlým zkouškám a poté využíváno jedním z pražských orgánů až do jeho odstavení. Po této době se stát přestal zajímat o elektromobily a začal se soustředit pouze na obyčejné automobily se spalovacím motorem. Elektromobilům však úplně neodzvonovalo, jelikož se jimi zabývali jednotlivci nebo skupinky tzv. amatérů, kteří byli opravdovými odborníky na tuto problematiku, ale nemohli však své znalosti ve svém zaměstnání uplatnit. Tito odborníci přebírali tzv. štafetu ve vývoji elektromobilů. [1]

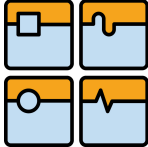
Po roce 1989 zhruba v letech 1990 – 1992 bylo vyrobeno několik stovek elektromobilů pro švýcarského zákazníka v Ejpovicích a Ing. Luboš Zahradník vyrobil na zakázku několik užitkových elektromobilů pro lázně v Bardějově a pro Pražské komunikace.

V prvním čtvrtletí roku 1992 obdržel Liaz poptávku firmy DIOSS na vývoj elektromobilu, který by bylo možno v co nejkratší době zavést do výroby a ekonomicky vyrábět 3000 až 5000 ks ročně. Mělo se jednat o čtyřmístný automobil, který měl stát na podvozku Škoda a pohonu Dioda - střídavý asynchronní elektromotor, procesorem řízený měnič, Pb alternativně Ni-Cd baterie. [7]



Obr. 5 Elektromobil Liaz 01.02 XGJ/LUX [7]

Jako základní materiál pro výrobu byl zvolen hliník, a to pro jeho menší hmotnost, recyklovatelnost a menší náklady na technologii. Cílem bylo zkonstruovat automobil, který bude velmi ekologický, vnitřně prostorný, bude základem dalších variant – užitkových verzí apod. Jedním ze základních problémů tohoto projektu však byla finanční stránka, kdy došlo k odstoupení firmy Swissmobile Inc. od projektu. Další finance na dokončení tohoto projektu se však již nenašly, a proto byl tento projekt ukončen. [7]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

TECHNICKÉ PARAMETRY:

Čtyřmístný elektromobil s motorem vpředu a pohonem přední nápravy s jednoprostorovou karoserií z hliníkových profilů.

Délka: 3,43m

Šířka: 1,62m

Výška: 1,50m

Pohotovostní hmotnost: 1030kg...z toho baterie 380kg

Užitečná hmotnost: 350kg

Celková hmotnost: 1380kg

Max. rychlost: 90km/hod

Dojezd při 50km/hod: 100-120km [7]



Obr. 6 Elektromobil LIAZ [7]

Motor asynchronní elektromotor ATR 25-4 z VÚES Brno jmenovitého výkonu 4kW.

Převodovka dvoustupňová, elektrohydraulicky řazená, 1.st. ...3,308, 2.st ...1,267, stálý převod 4,167. Reverzace motorem, řazení tlačítka na přístrojové desce bez oddělovací spojky. [7]

ÚVMV (ústav pro výzkum motorových vozidel) Praha zhotovil prototypy elektromobilů na bázi škoda Favorit, které za státní peníze testovali téměř 10 let. V Ejpovicích ve Škodě ELCAR vznikaly elektromobily, které byly také ještě z počátku vyráběny pod značkou ŠKODA. Výroba tehdy přímo navazovala na výrobu elektromobilu Škoda ELTRA odvozeného od Škody Favorit. Od roku 1994 – 1997 se k výrobě používaly díly převzaté ze Škody 120 L (přední směrové blinkače a světlomety), Škody Favorit (podvozek, skla, zrcátka, kliky, zámky a interiér) a ze Škody Pick-up (zadní sdružené světlomety). Pohon zde zajišťoval asynchronní elektromotor o největším výkonu až 40 kW a byl napájen přes frekvenční měnič ze sady 30 kusů Ni – Cd baterií SAFT typu STM5-100. Toto vozidlo jezdilo rychlostí až 110 km/h a na jedno nabití ujelo až 120 km. [1]

V roce 1997 byla výroba elektrické BETY zcela ukončena a začala spolupráce s korejskou automobilkou Hyundai Motors. Od ní byl převzatý motor, palubní deska s přístroji a později také celý interiér včetně brzd a to z modelu Hyundai Accent. Automobil této konstrukce se u nás ještě donedávna vyráběl. Celkem se tedy vyrobilo pouze cca 100 kusů elektromobilů BETA. Většina jich putovala do zahraničí, díky velmi moderní konstrukci střídavého elektropohonu a přijatelné ceně jich také mnoho skončilo jako názorná učební pomůcka na různých elektrotechnických fakultách. [1]

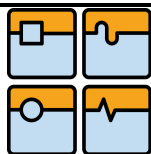


Obr. 7 Elektromobil Tatra Beta Vysoké školy Báňské v Ostravě [1]

V ČR je dnes v provozu již pouze několik kusů těchto užitkových elektromobilů. Jedna z mála BETA Electric u nás se nachází v Ostravě na Vysoké škole báňské.

TECHNICKÉ PARAMETRY: [8]

- Motor: třífázový asynchronní s oddělenými výstupy 40kW max. (Škoda Plzeň)
- Převod: 1 TRVALÝ + zpátečka pákou s kontaktem na elektronickou změnu otáčení motoru
- Baterie: S OBČASNOU údržbou, NiCd 30 kusů po 6V 100Ah (Saft)
- Regulace: frekvenční PWM přes AC měnič (Elektropřístroj)
- Parametry: maximální rychlost: 100km/h a maximální dojezd: 120km



3.3 HISTORIE ELEKTROMOBILŮ V ZAHRANIČÍ

Jednu z nejdelších tradic ve vývoji elektromobilů z dnešních renomovaných automobilem je pravděpodobně automobilka Citroën.

Již v roce 1939 vyrobila tato automobilka prototyp na základě základního vozu TUP. Během let 1941 – 1942 se jich vyrobilo cca 100 ks. [1]



Obr. 8 Citroën TUB Electrique [1]

Po spojení s automobilkou Peugeot v roce 1974, navázal nově vzniklý koncern PSA na tyto zkušenosti obou firem a vytvořil samostatnou divizi zaměřenou na výrobu elektromobilů s názvem PSA Electrique. Vytvořili dva modely C15 a C25 a poté i model AX. Bylo vyrobeno bezmála 5000 ks elektromobilů pod značkami Peugeot a Citroën dohromady. Koncem roku 2000 došlo z nevysvětlitelných důvodů k ukončení výroby i přes to, že bylo vyrobeno tolik vozů. Ostatní automobilky začaly s vývojem a výrobou elektromobilů mnohem později. [1]

V roce 1975 začala s vývojem elektromobilů italská automobilka Fiat, ale teprve až v roce 1990 vyrobila svůj první komerčně vyráběný model Panda Elettra. Po tom následovalo pouze několik desítek elektromobilů odvozených od modelu Cinquecento Elettra.

Až v roce 1996 byla nastartována sériová výroba elektromobilu, který byl postaven na základě benzinového modelu Ceicento Elettra. [1]



Obr. 9 Fiat Ceicento Elettra [1]

Od roku 1980 začala také vyvíjet elektromobily automobilka Renault. V roce 1992 zahájili sériovou výrobu modelu Clio Electrique z počátku s olověnými bateriemi, od roku 1995 s Ni – Cd bateriemi. Výroba byla ukončena v roce 1999. Od roku 1998 se v omezeném počtu vyráběl užitkový elektromobil Kangoo Electrique.



Obr. 10 Elektromobil Cleanova II [22]

Z důvodu jiné strategie této firmy a s přechodem na vývoj hybridních vozů předal Renault výrobu tohoto elektromobilu firmě Cleanova, která tento model vyrábí dodnes. [1]

V roce 1989 byl v Rusku představen na výstavě v Moskvě elektromobil Lada 1111 Electric. Jednalo se o nejmenší model automobilky VAZ. Vyráběl se v počtu desítek kusů a to na přímou objednávku budoucího majitele. [1]



Obr. 11 Lada 1111 Electric [1]

V roce 1991 převzala výrobu benzínových motorů firma KAMAZ. Elektrické verze se pak vyráběly samostatně ve vývojových dílnách Ředitelství technického rozvoje automobilů v Rusku až do roku 1998. [1]

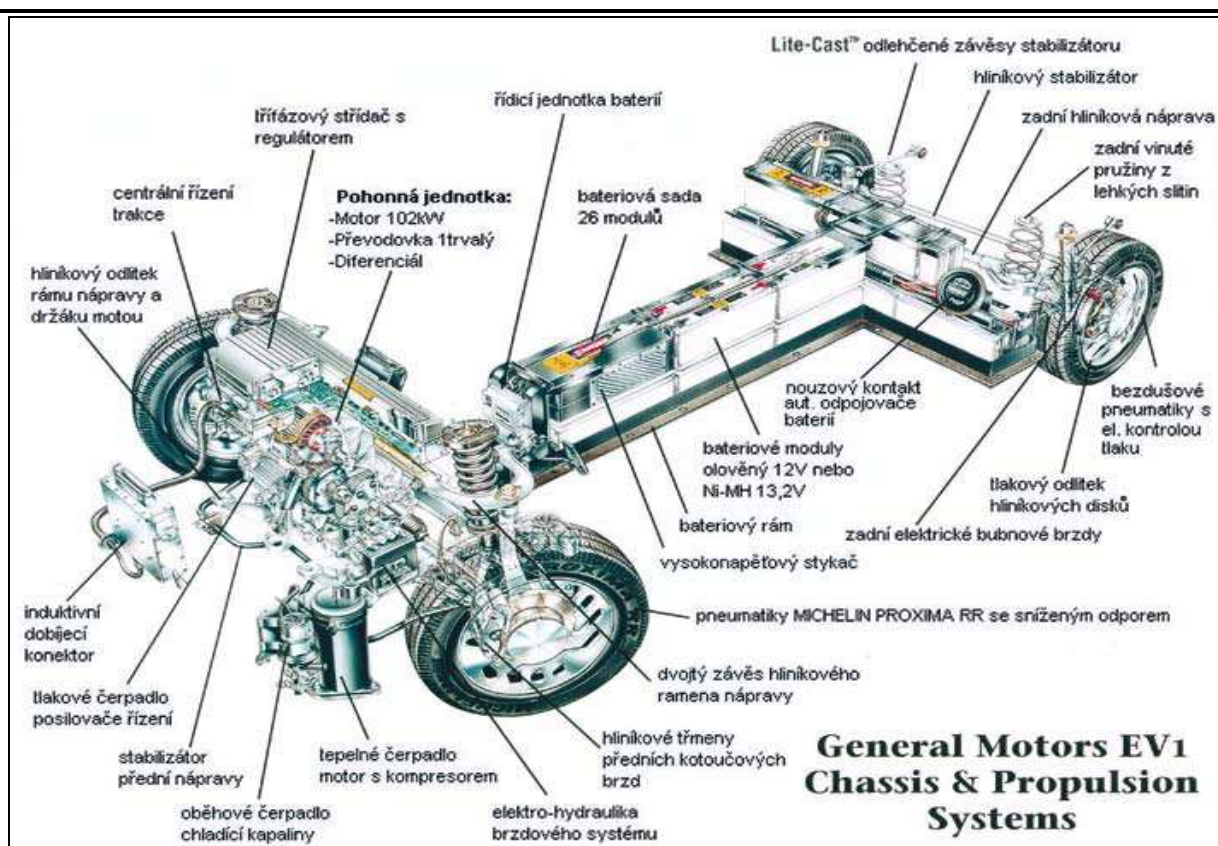
Společnost General Motors vyvinula před několika lety elektromobil EV1, který se již téměř vyrovnal vozidlům se spalovacími motory. Tento Projekt byl spuštěn v roce 1990 v USA ve státě California a jeho název byl „Zeroemissions vehicle“. Cílem tohoto projektu bylo dosáhnout na trh do roku 1998 alespoň 2% a do roku 2003 10% elektromobilů z celkové počtu vozidel. Projekt byl závazný pro všechny velké automobilky jako byli např. GM, Ford a Chrysler. Pilotní vozidlo pro tento projekt, kterého se zúčastnili i automobilky Toyota a Honda byl právě zmíněný elektromobil EV1 s označením IMPACT, který byl představen v roce 1993. Jednalo se o sportovní dvoumístné kupé Společnosti



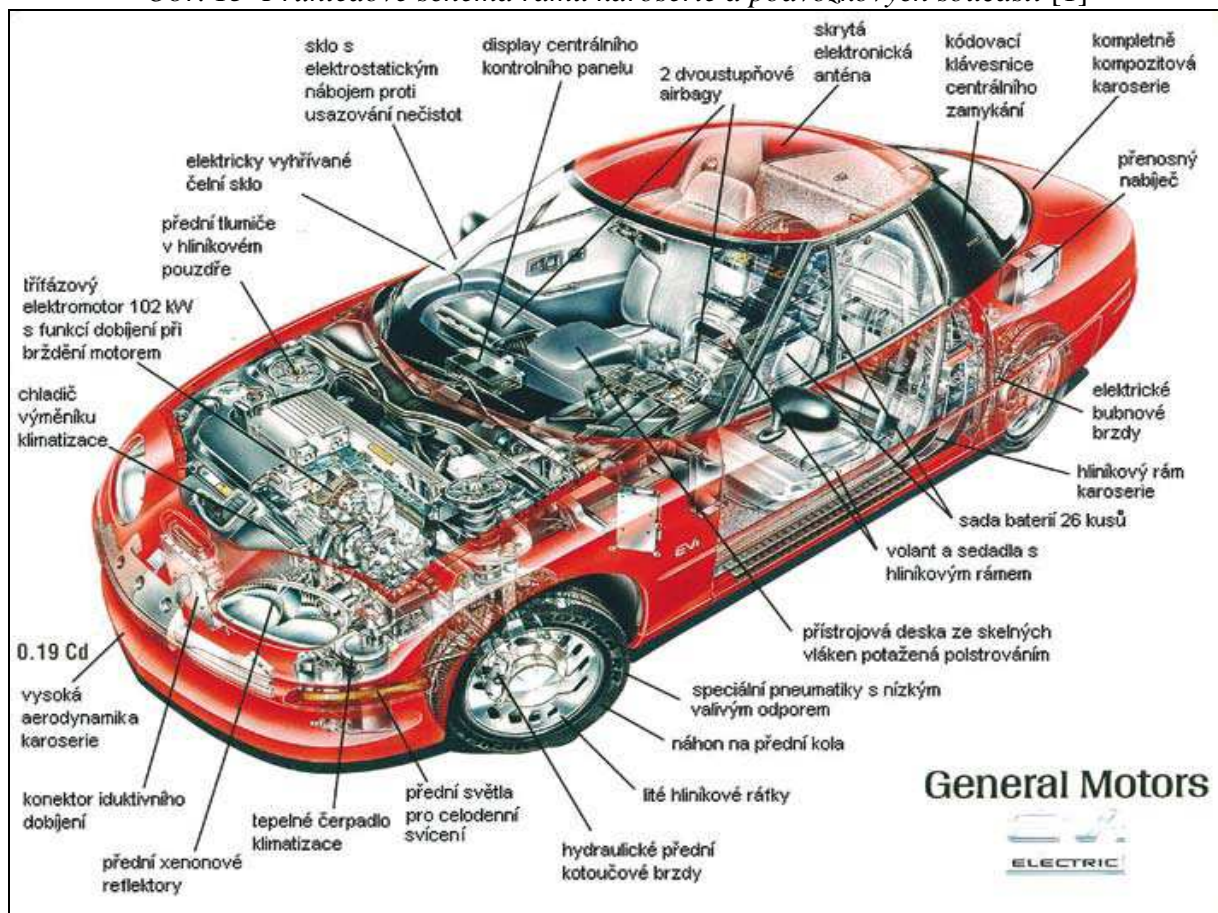
Obr. 12 Elektromobil EV1 [10]

General Motors. V roce 1996 začala sériová výroba tohoto modelu ve městě Lansing. Bylo prvním a zároveň posledním vozidlem, které neslo na přední kapotě logo GM. Díky dobře navrženému elektropohonu, bateriím a hlavně kompozitové karosérii s hliníkovým rámem vznikl elektromobil, který neměl ve světě obdoby. Jiné automobilky jako třeba Toyota nebo Honda použili na svých modelech HONDA EV Plus a Toyota RAV4EV ověřené metody přestavby sériové karoserie na elektrický pohon, zatímco GM vyvinula zcela novou platformu založenou na směsi plastů, skla a hliníku. [1]

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 13 Průhledové schéma rámu karoserie a podvozkových součástí [1]



Obr. 14 Průhledové schéma rozložení jednotlivých fotografií [1]

Bohužel elektromobil GM EV1 předstihl „svojí“ dobu. Celý projekt stál přes miliardu dolarů a byl dotován i státem, ale nakonec „rozzlobil“ mnoho vlivných lidí a proto byl v roce 2003 tento projekt ukončen. V roce 2005 bylo sešrotováno posledních 90 kusů tohoto elektromobilu. Z 1100 vyrobených kusů GM EV1 se podařilo zachránit pouze pár vozů, které dnes jsou vystaveny jako muzejní exponáty. [1]

V roce 2001 se k projektu přidala i společnost FORD se svým modelem TH!NK. Ty se však vyráběly v Norsku, takže se je později podařilo zachránit a odeslat zpět do Norska, kde se odprodaly místním zákazníkům. Ford poté prodal i celou místní továrnu a výrobu elektromobilů úplně ukončil. [1]



Obr. 15 Ford TH!NK [11] →

Další společnost patřící do série velkých automobilek, která se zabývá již mnoho let vývojem a výrobou elektromobilů je automobilka Mitsubishi. Mitsubishi na rozdíl od jiných výrobců nepoužívá ve výrobě svých elektromobilů „osvědčené“ technologie ze spalovacích modelů, ale vyvinulo zcela novou platformu. Je to hlavně převodovka, náhony a poloosy (tzv. Mitsubishi In-Wheel motor). Tento systém se v poslední době ukazuje jako pohon budoucnosti a právě tímto směrem by se měl ubírat další vývoj elektromobilů. Vždyť již nyní tento nápad s úspěchem přebírají i konkurenční výrobci. Mitsubishi vyvíjí hned dva modely elektromobilů, Colt a Lancer. U obou těchto elektromobilů je použit systém MIEV – elektromotory v kolech. [1]



Obr. 16 Mitsubishi Colt [1]



Obr. 17 Mitsubishi Lancer [1]

Elektromotory jsou vyrobeny společně s firmou Toyo Denki Seizo. Každý z nich má maximální výkon 50 kW. Nejvyšší rychlosti dosahuje až 180km/h a dojezd na jedno nabití je okolo 180 km. Celý systém je napájen ze sady Li-ion baterií umístěných v zadní části podlahy. [1]

4. VÝHODY A NEVÝHODY, SOUČASNÁ PODoba ELEKTROMOBILŮ

4.1 PŘEDNOSTI ELEKTROMOBILŮ [1]

Jednoznačnými přednostmi elektromobilů jsou:

- možnost využívat obnovitelnou energii s velkou účinností
- možnost okamžitého maximálního výkonu
- možnost opakovaného a mnohonásobného přetížení
- rekuperace energie
- absence hluku a jiných emisí, vibrací
- přesnost a jednoduchost ovládání

Mezi nevýhody elektromobilů patří:

- kratší akční rádius (dojezdová vzdálenost)
- vysoká pořizovací cena
- nedostatek oficiálních dobíjecích míst
- nedostatek dobíjecích míst pro rychlonabíjení

Účinnost elektromotorů již dnes dosahuje přes 97 % a náklady na jejich výrobu při hromadné výrobě by byly zlomkem ceny spalovacích motorů vzhledem k jejich složitosti.

Dnes používané akumulátory – principiálně shodné s těmi v mobilních telefonech, jsou bezpečné, vstřícné k životnímu prostředí a neobsahují jedovaté komponenty. Cena akumulátorů je podstatná položka, při hromadné výrobě by byla mnohem nižší než dnes. Započteme-li jejich cenu do celkových nákladů, vycházejí již dnes náklady na km nižší, než při použití benzínu. Cena benzínu však bude stoupat, zatímco cena baterií by se měla snižovat. Životnost akumulátorů se dnes dá počítat na stovky tisíc ujetých km. Zatím největší výrobce trakčních akumulátorů udává životnost na 3 - 4000 cyklů, kdy na jeden cyklus lze najet 200 - 300 km.

4.2 SPORTOVNÍ PODOBA ELEKTROMOBILŮ

Světově první sportovní elektromobil představila francouzská společnost Ventura. Jednalo se o dvousedadlový elektromobil Venturi Fétish vyráběný v Monaku od konce roku 2004. Celosvětově bylo vyrobeno pouze 25 kusů tohoto raritního modelu. [1]



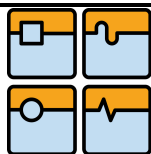
Obr. 18 Venturi Fétish [11] →

Další společnost, která se zabývá výrobou sportovních elektromobilů je automobilka Tesla Motors. Prvním modelem této automobilky je Tesla Roadster 2.0. Tento model se v minulém roce dočkal modernizace s označením 2.5, kde byl modifikován pohánecí systém, aby lépe odolával vyšším teplotám okolí.

Baterie jsou lithium-iontové, dobytí baterií trvá přibližně 3,5 hodiny. Automobil má dojezd cca 245 mil (cca 390 km) na plné nabití, zrychlení tohoto modelu je z 0 do 97 km/h za 3,9 sekundy. K minulému roku 2010 firma dodala kolem 1200 Roadsterů svým zákazníkům v USA, Anglii, Švýcarsku, Francii, Německu a dalších zemích. [9]



Obr. 19 Tesla Roadster 2.5 [13]



4.3 ELEKTROMOBILY DNEŠNÍ DOBY

V dnešní době opět roste poptávka po automobilech s elektrickým pohonem. Téměř každá větší automobilka se touto problematikou usilovně zabývá a vznikají různé prototypy s elektrickým pohonem. Snahou těchto automobilek je, aby do jednoho nebo dvou let, tedy do roku 2013 měli auto, které bude čistě poháněno elektrickým pohonem.

Snaha je také o to, aby při jízdě s tímto typem auta docházelo k využití energie, která se při jízdě vytváří, například při jízdě z kopce nebo při brzdění vozu. Jde o tzv. rekuperaci energie tzn., že auto je schopno přeměnit svou kinetickou energii a dobíjet baterie umístěné ve voze a přitom šetřit brzdové obložení.

Jednou z automobilek, která vyvinula elektromobil, je automobilka BMW a to s konceptem ACTIVE E. Jedná se o auto s plně elektrickým pohonem na platformě BMW řady 1. Tento elektromobil je vybaven lithium-iontovými bateriemi, které při plném nabití mají dojezd 160 km. Nový speciálně vyvinutý motor disponuje výkonem 125 kW (170 koní) a točivým momentu 250 Nm. Zrychlení z 0 – 100 km/h je za necelých 9 sekund a maximální rychlost je omezena na 145 km/h. BMW ActiveE rovněž obsahuje nové BMW ConnectedDrive služby vyvinuté speciálně pro elektrická vozidla. Patří mezi ně chytrý telefon, přes který můžeme kontrolovat stav baterie, vyhledat nejbližší nabíjecí stanici a na dálku aktivovat pomocné vytápění a klimatizaci. [15]



Obr. 20 Koncept BMW ACTIVE E [15]

Elektromobily také už pronikly do světa drahých luxusních aut. Slavná britská automobilka Rolls-Royce, která se zabývá výrobou luxusních aut předvedla v letošním roce svou studii s označením 102 EX. Jde o limuzínu na základě současného Phantomu, který je vybaven dvěma elektromotory o celkovém výkonu 290 kW (394 koní) a úctyhodném točivém momentu 800 Nm. Baterie jsou lithium-iontové s kapacitou 71 kWh. Tyto parametry umožňují zrychlení 0 – 100 km/h za méně jak 8 sekund a maximální rychlost této limuzíny je 160 km/h, která je elektronicky omezena. Na jedno nabití ujede okolo 200 km. [16]



Obr. 21 Rolls-Royce 102 EX [16]

Další společnost, kterou jsem již zde jednou uvedl a která se zabývá výrobou elektromobilů je Tesla Motors. Automobilka vyvinula rodinný typ elektromobilu s označením MODEL S.

Tento elektromobil je vybaven kapalinou chlazeným elektromotorem s jednorychlostní převodovkou. Elektromobil bude mít dojezd až 300 mil (cca 480 km) na jedno dobytí. Rychlost dobytí bude kolem 45 minut. Zrychlení z 0 -100 km/h pod 6 sekund. [9]



Obr. 22 Tesla Model S [9]

4.4 PROJEKT ELEKTROMOBILU ŠKODA SUPERB

Jedním ze stěžejních programů, na kterém se podílelo VUT v Brně a stále podílí je projekt Superbel. Jedná se o přestavbu automobilu Škoda Superb se spalovacím motorem na elektromobil. Návrh přestavit auto na elektromobil vzešel přímo ze strany Škodovky, kdy bylo nabídnuto univerzitě VUT v Brně jakýkoliv typ auta k volnému použití a volba padla jednoznačně na Škodu Superb. [18]

PARTNEŘI PROJEKTU

- Škoda Auto a.s.
- VUT v Brně
- Sdružení elektromobily
- EVC group
- TÜV SÜD Czech

Projekt pod koordinací Ing. Jaromíra Marušince, Ph.D., MBA, dostali do rukou především Ing. Martin Solař a Miroslav Svačina, pracující oba pro firmu EVC Group, kteří se samotné přestavby také zhostili.



Obr. 23 Elektromobil Superbel [17]

Elektromobil je vybaven vodou chlazeným střídavým asynchronním elektromotorem značky Siemens s výkonem 63 kW a akumulátorem s lithium-železo-fosfátovými články, kterých je v základním modelu 95 a do kterého je možné uložit až 35 kWh energie. To odpovídá přibližně dojezdu kolem 200 km. V rozšířené verzi by měl být akumulátor se 130 články a dojezd elektromobilu se nám tedy zvýší na 250 až 300 km. Maximální rychlost elektromobilu je 140 km/h.

Vzniklé vozidlo je velice tiché, bez zápachu, a nepotřebuje zvláštní údržbu. Stačí jen měnit pneumatiky, doplňovat vodu do ošťikovačů a dobíjet akumulátor. Údržba elektromotoru je také velmi snadná. V podstatě stačí pouze podle potřeby měnit ložiska a převodovku. Poruchovost auta souvisí s kvalitou akumulátorů. Ty jsou ale v dnešní době velmi spolehlivé. Tedy i po této stránce je Superbel lepší než jeho předchůdce se spalovacím motorem. Jízdní vlastnosti elektromobilu jsou buď stejné nebo dokonce lepší, než u benzinového auta. Životnost motoru je odhadnuta na 1 milion km, životnost akumulátorů na asi 500 tisíc kilometrů. [19]



Obr. 24 Vodou chlazený střídavý asynchronní elektromotor [19]

Dobití akumulátorů co v nejkratším čase je také jednou z priorit tohoto projektu. Tímto úkolem byli pověřeni studenti z fakulty informatiky a komunikačních technologií na ústavě výkonové elektrotechniky a elektroniky. V současné době vyvíjejí rychlonabíječku, která bude schopna dobít Superbela z 10% na 90% své kapacity za 30 minut a celkové nabití by mělo být provedeno do 45 minut při napojení na 400V zásuvku. V Superbelu bude také umístěn unikátní dotykový display, který navrhnul student z ústavu informačních technologií a ten je schopen navigovat elektromobil k jedné ze 136 dobíjecích stanic, které u nás zatím stojí. [19]



Obr. 25 Síť dobíjecích stanic pro elektromobily V ČR [20]

Homologace elektromobilu Superbel by měla být schválena na podzim tohoto roku a další technické úpravy, jako například přidání fotovoltaické střechy, vylepšení bezpečnostních prvků nebo nahrazení převodovky a spojky buď automatickým nebo robotickým převodem podle typu jízdy, jsou nyní ve vývoji.

Samozřejmostí je pak u tohoto elektromobilu také to, že má schopnost rekuperovat energii, která se nám vytváří při brzdění a tím dochází k částečnému dobíjení akumulátoru.

Parametry elektromobilu Superbel	
Typ auta	Škoda Superb
Elektromotor	Siemens, asynchronní, vodou chlazený
Maximální výkon elektromotoru	63 kW
Maximální rychlost	140 km/h
Dojezdová vzdálenost	200 km (akumulátor s 95 články)
	250 až 300 km (akumulátor se 130 články)
Životnost motoru	1 000 000 km
Životnost akumulátoru	500 000 km
Rychlost nabíjení	45 min. při napojení na 63A/400 V
Jízdní vlastnosti	stejně nebo lepší
Bezpečnost	stejná
Provoz	50 Kč na 100 km
Cena přestavby	450 000 Kč
Celková cena elektromobilu	1 500 000 Kč

5. ZDROJE ENERGIE

5.1 HISTORICKÉ AKUMULÁTORY

Většina dosud reálných aplikací akumulátorového pohonu využívala Ni-CD akumulátorů. Zejména se sintrovanými elektrodami, tj. papírovým separátorem, který umožňoval snížit jejich hmotnost a rozměry. V automobilech jich bylo v Evropě nejvíce využíváno v elektromobilech PSA Peugeot Citroen, kterých se vyrobilo 10 000 a dosud jsou v provozu. [14]

Olověné akumulátory se přestávají používat díky vysoké hmotnosti, krátké životnosti, degradaci vlastností při nízkých teplotách a dopadu na životní prostředí. [14]

5.2 AKTUÁLNÍ AKUMULÁTORY

5.2.1 LiFePO₄

Aktuálně nejpoužívanější elektrochemie akumulátorů je založena na bázi lithium železo fosfátu (LiFePO₄). Toto označení získaly díky katodě vyrobené z tohoto materiálu. Anoda je jako u ostatních li-ion baterií vyrobena z uhlíku.

Mezi jejich hlavní přednosti oproti klasickým lithium iontovým akumulátorům patří především schopnost dodat vyšší proud a to, že při extrémních podmínkách nevybuchují. Na druhou stranu mají o něco nižší napětí a také nižší hustotu energie (při stejném objemu mají nižší kapacitu). LiFePO₄ technologie je zajímavá hlavně díky svým benefitům jako jsou nízké výrobní náklady, je zcela netoxická (narozdíl od klasických li-ion), má vyjímečnou teplotní stabilitu, velmi dobrý elektrochemický výkon a vysokou kapacitu až 170 mAh/g. [14]



Obr. 26 Akumulátorový článek [17] →

5.2.2 LiFeYPO₄ a LiFeMgPO₄

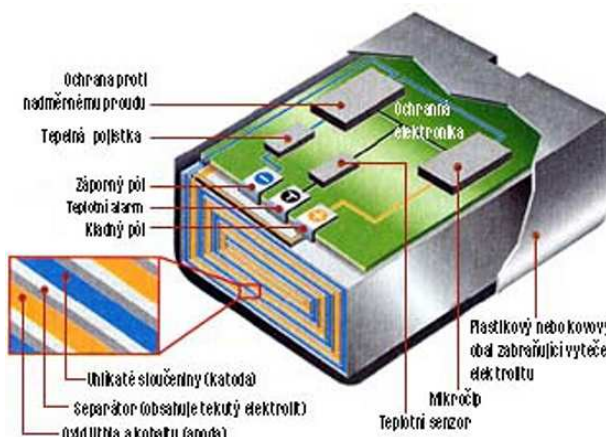
Od listopadu 2009 výrobce Thunder Sky část železa v LFP akumulátorech začal nahrazovat Yttriem. Tyto akumulátory LiFeYPO₄ dosahují až o 10% vyšších kapacit při zatím nezměněné změně hmotnosti. [14]

Dalším výrobcem, který se zabývá výrobou akumulátorů je firma Valence, nahrazující část železa pro změnu hořčíkem LiFeMgPO₄. Tyto akumulátory se vyznačují vysokou životností, která je 3 - 4 větší než u lithia kobaltu. [14]

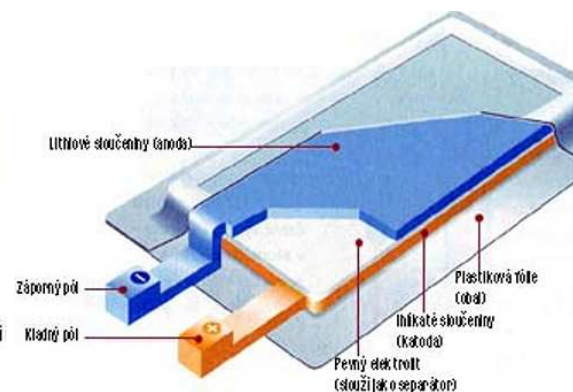
5.2.3 Li-Ion akumulátory, Li-Pol akumulátory

Mezi nejpoužívanější typy akumulátorů v elektromobilech patří lithium-iontové akumulátory a lithium-polymerové akumulátory a to kvůli poměrně vysoké energetické hodnotě, která je přibližně 3x větší než u Ni-MH (Nikl-metal hydridové akumulátory). Energetická hustota je též o mnoho vyšší. Anoda této baterie je vyrobena z uhlíku, katoda je oxid kovu a elektrolyt je lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Rozdíl mezi těmito

akumulátory je v tom, že Li-Ion mají elektrolyt uvnitř obalu z organické látky, zatím Li-Pol mají obal z polymerů. [21]



Obr. 27 Li-Ion akumulátor [21]



Obr. 28 Li-Pol akumulátor [21]

5.3 AKUMULÁTORY BUDOUCNOSTI

5.3.1 Lithiové akumulátory s nanotechnologií

I když je jejich složení není ideální, stále se evolučně zdolonalují. Výhodou této elektrochemie je, že není vázána vysokými patentovými poplatky na rozdíl od NiMH (Nikl-metal hydridové akumulátory).

Připravují se nové baterie, které budou mít velkou plochu elektrod. Na elektrodě je nanotráva čímž se až 300x zvětší její povrch. To umožňuje velké vybíjecí a nabíjecí proudy na malé baterii.

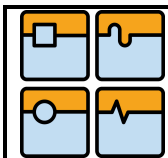
5.3.2 Akumulátor kov - vzduch

Zde se nejedná o akumulátor, ale o primární články Zinek-vzduch, které není možné elektricky nabíjet. Mají nízkou hmotnost dvakrát lepší jako lithium a jsou o mnoho levnější. Nabíjejí se speciální mechanicko-chemickou reakcí, tedy recyklací. Výkon lze regulovat množstvím protékaného vzduchu. [14]

5.3.3 Superkapacity

V elektromobilu lze superkapacity nebo superkondenzátory využít jako malý, ale výkonný zásobník energie “cache” před baterií. V superkondenzátoru se uloží energie z počátku brzdění a pak je použita při počátečním rozjezdu. [14]

V oblasti superkondenzátorů pokračuje výzkum tak rychle, že někteří vývojoví pracovníci věří, že je bude možné použít i pro pohon i bez akumulátorů. Znamenalo by to revoluci v rychlosti nabíjení. Elektromobil by pak bylo možno nabít tak rychle, jako při čerpání benzínu nebo nafty do nádrže. [14]



6. VÝPOČTOVÁ ČÁST ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Cílem výpočtové části je porovnání dvou spalovacích motorů s elektromotorem. Budeme porovnávat dynamiku vozu Škoda Superb s motorem 1.4 TSI/92 kW, s motorem 2.0 TDI PD DPF/103 kW a elektromotorem Siemens o výkonu 65 kW. Při výpočtu všech tří motorů bude použita jednotná převodovka, tak aby byla možnost vidět jednotlivé charakteristiky všech tří typů motorů a jejich následné porovnání. Výpočty byly provedeny v programu MathCad.

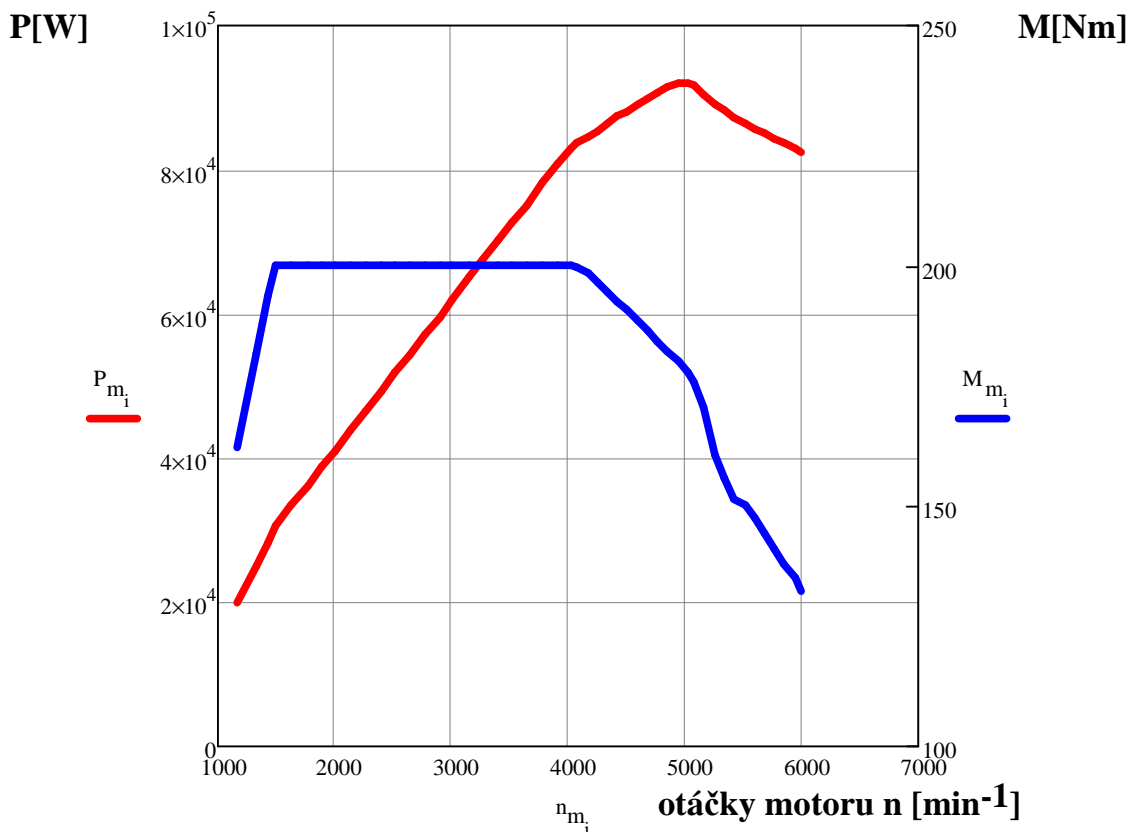
Otáčková řada převodovky:

- převodový poměr I	$p_{p1} = 3,37$	- trvalý převod I	$p_{r1} = 3,45$
- převodový poměr II	$p_{p2} = 2,09$	- trvalý převod I	$p_{r2} = 3,45$
- převodový poměr III	$p_{p3} = 1,32$	- trvalý převod I	$p_{r3} = 3,45$
- převodový poměr IV	$p_{p4} = 0,98$	- trvalý převod I	$p_{r4} = 3,45$
- převodový poměr V	$p_{p5} = 0,98$	- trvalý převod II	$p_{r5} = 2,76$
- převodový poměr VI	$p_{p6} = 0,81$	- trvalý převod II	$p_{r6} = 2,76$
- převod diferenciálu	$P_d = 1,2$		
- průměr kola	$d = 0,6 \text{ m}$		
- poloměr kola	$r = 0,3 \text{ m}$		

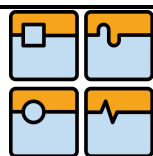
6.1 VÝPOČET DYNAMIKY MOTORU 1.4 TSI/92 kW

Maximální výkon: $P_{\max} = 92 \text{ kW}$ při 5000 ot./min

Maximální kroutící moment: $M_{\max} = 200 \text{ Nm}$ při 1500-4000 ot./min



Obr. 29 Momentová a výkonová charakteristika motoru 1.4 TSI/92 kW [14]



6.1.1 Výpočet odporových sil automobilu s motorem 1.4 TSI/92 kW

Tato část je zaměřena na výpočet odporové síly automobilu. To zahrnuje výpočet odporu valení a odporu vzduchu při zvyšující se rychlosti automobilu. Výsledné hodnoty jsou zaneseny do grafu.

Zadané Hodnoty:

- | | | |
|---|-------------|---------------------------|
| - Pohotovostní hmotnost vozidla s řidičem | m | $= 1477 \text{ kg}$ |
| - Součinitel odporu valení | μ_v | $= 0,015$ |
| - Součinitel aerodynamického odporu | μ_a | $= 0,29$ |
| - Tíhové zrychlení | g | $= 9,81 \text{ m/s}^2$ |
| - Čelní průřez automobilu | S_a | $= 2,656 \text{ m}^2$ |
| - Hustota vzduchu | ρ_{vz} | $= 1,2 \text{ kg/m}^3$ |
| - Vymezení rychlosti | v | $= 7,8..201 \text{ km/h}$ |

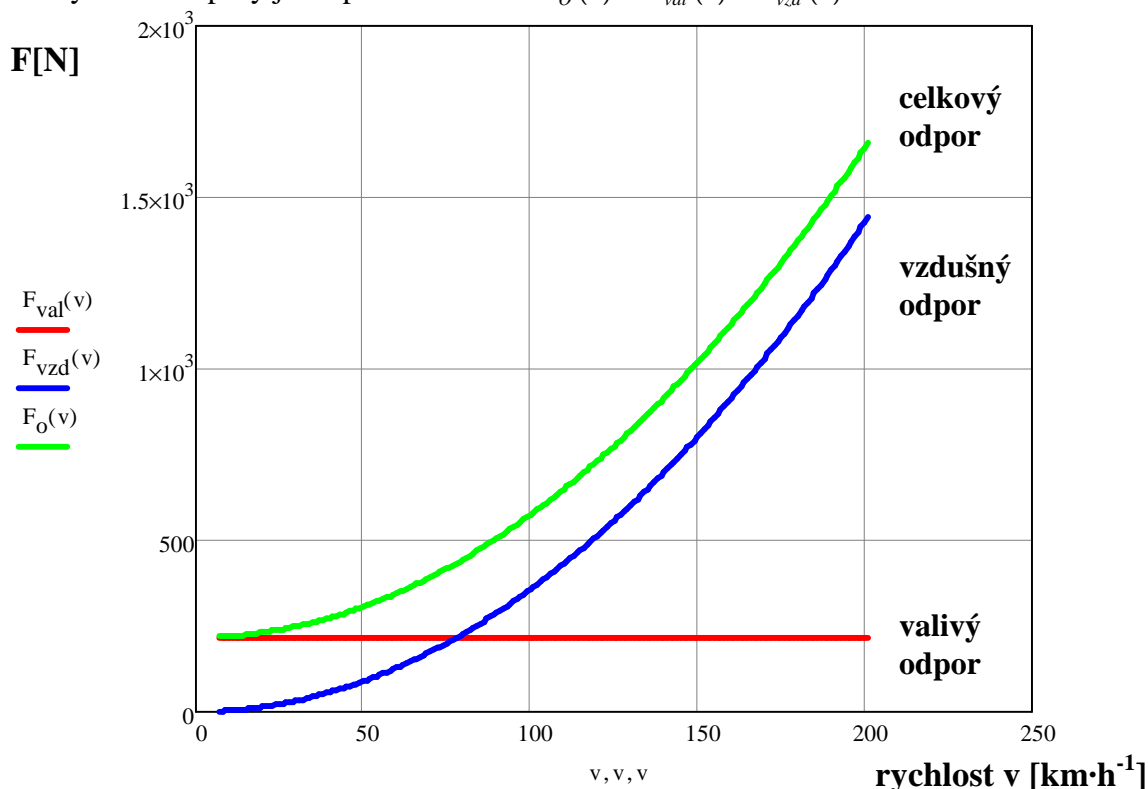
Odpor valení

$$F_{val}(v) = G \cdot \mu_v = m \cdot g \cdot \mu_v$$

Odpor vzdušný

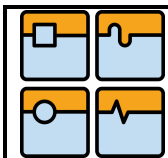
$$F_{vzd}(v) = \left[\frac{1}{2} S_a \cdot \left(\frac{v}{3,6} \right)^2 \cdot \rho_{vz} \cdot \mu_a \right]$$

Výsledné odpory jsem pak sečetl. $\rightarrow F_o(v) = F_{val}(v) + F_{vzd}(v)$



Obr. 30 Odporová charakteristika automobilu s motorem 1.4 TSI/92 kW

Další odpory jako např. odpor stoupání jsou v této práci zanedbány, jelikož výpočty, které jsou zde provedeny, uvažují jízdu vozidla pouze po rovině.



6.1.2 Výpočet hnací síly automobilu s motorem 1.4 TSI/92 kW

Hnací síly motoru jsou vypočítány z vnější rychlostní charakteristiky momentu motoru, tzn. , že jsou to průběhy maximálních hnacích sil („plný plyn“) pro jednotlivé rychlostní stupně. [6]

Zadané hodnoty:

- účinnost celého převodového ústrojí je: $\eta_c = 0,8847$ [14]

Při výpočtu se vycházelo ze základního vzorce pro výpočet hnací síly z momentové charakteristiky motoru $F_K = \frac{M_K}{r}$ [6], kde K je stupeň zařazené rychlosti. Pak

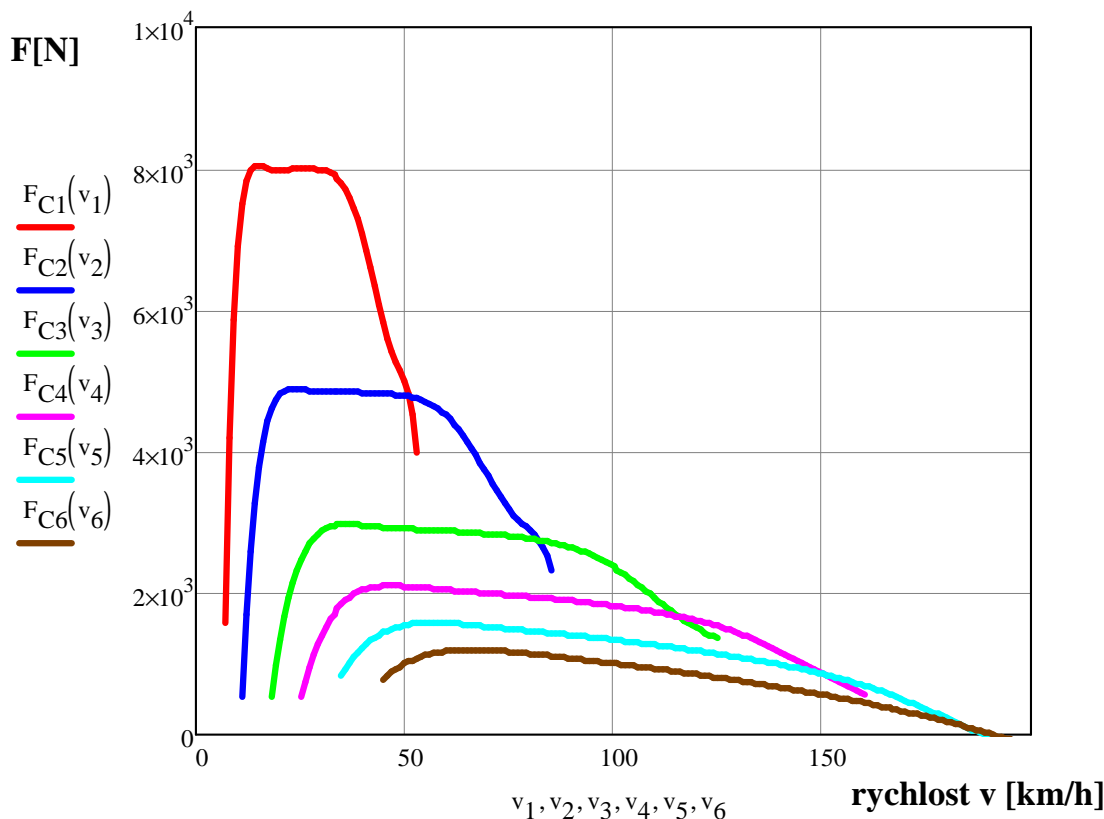
$$F_K(v_K) = \frac{M_{mK}(v_K) \cdot p_{pK} \cdot p_{rK} \cdot P_d \cdot \eta_c}{r}, \text{ přičemž } p_{pK} \text{ je převod právě zařazený}$$

v převodovce, p_{rK} je stálý převod rozvodovky k danému stupni, P_d je převod diferenciálu a η_c je celková mechanická účinnost soustavy.

Podle tohoto vzorce jsou následně vypočítány všechny jednotlivé převodové stupně v závislosti na $F_K = f(v_K)$. Po tomto kroku musí být od hnací síly motoru odečteny odporové síly, které vznikají při jízdě automobilem.

Výpočet celkové hnací síly:

$$F_{CK}(v_K) = F_K(v_K) - F_O(v_K)$$



Obr. 31 Rychlostní charakteristika sil motoru 1.4 TSI/92 kW

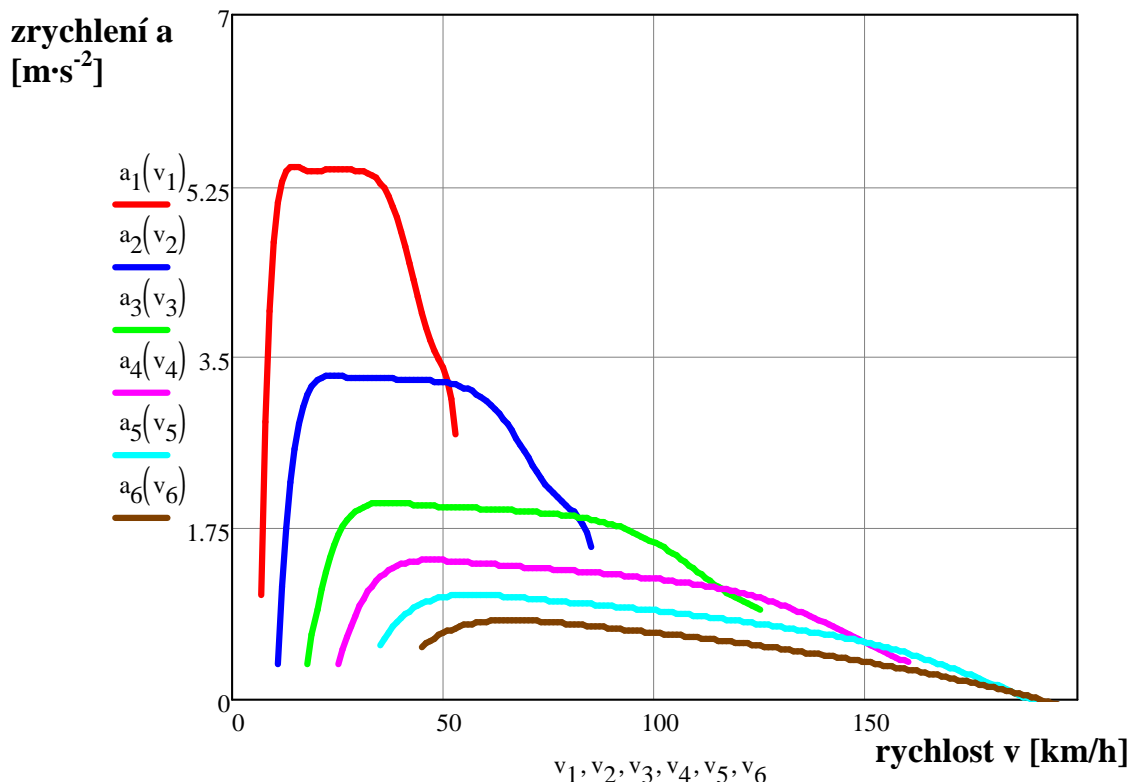
6.1.3 Výpočet zrychlení automobilu s motorem 1.4 TSI/92 kW

Při výpočtu je vycházeno ze základního vzorce pro výpočet síly $F = m \cdot a$ [5]. Tažná síla F , která se nám mění v závislosti na rychlosti je vypočtena v minulém bodu. Hmotnost automobilu je zadána. Proto je využit tento vzorec k výpočtu zrychlení pro jednotlivé převodové stupně.

Zrychlení automobilu:

$$F = m \cdot a \Rightarrow a_K(v_K) = \frac{F_{CK}(v_K)}{m}, \text{ kde } K \text{ je stupeň zařazené rychlosti}$$

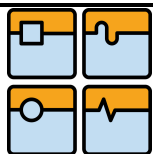
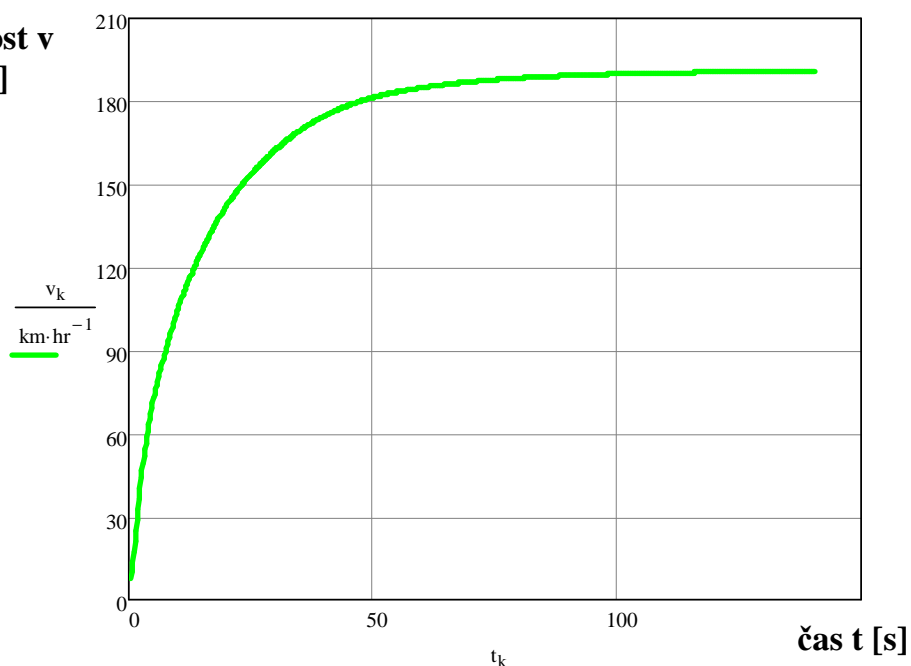
Výsledné hodnoty zrychlení pro jednotlivé převodové stupně byly následně zaneseny do grafu rychlostní charakteristiky zrychlení. Tvar jednotlivých křivek v tomto grafu odpovídá grafu rychlostní charakteristiky sil motoru, jelikož síla je podělena pouze hmotností vozidla m , která se nemění.



Obr. 32 Rychlostní charakteristika zrychlení automobilu s motorem 1.4 TSI/92 kW

6.1.4 Časový průběh rychlosti automobilu při rozjezdu

Na obr. 33 je vynesena časový průběh rychlosti vozidla při rozjezdu. Z grafu je patrné, že křivka plynule stoupá, jelikož při výpočtu byl zanedbán vliv poklesu rychlosti jízdy Δv při řazení jednotlivých převodových stupňů. Pokles rychlosti je zanedbán, po projednání s vedoucím, u všech motorů. Zahrnutí prodlevy by bylo softwarově náročné a u všech motorů stejné. Pokud by byl uvažován vliv poklesu rychlosti jízdy Δv , bylo by v grafu vidět určitý pokles u každého převodového stupně, protože během vypnutí spojky dojde k přerušení tažné síly.

rychlost v
[km/h]

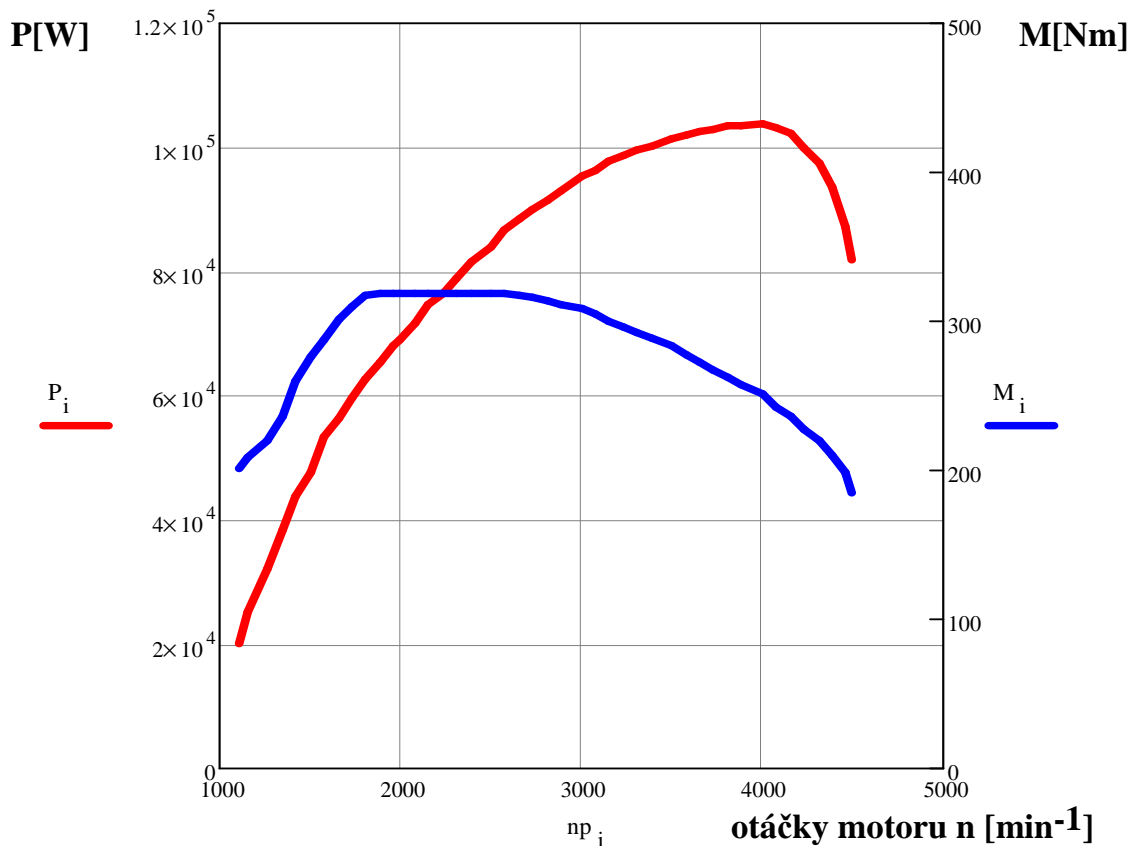
Obr. 33 Časový průběh rychlosti automobilu při rozjezdu s motorem 1.4 TSI/92 kW

6.2 VÝPOČET DYNAMIKY MOTORU 2.0 TDI PD DPF/103 kW

Maximální výkon:

 $P_{\max} = 103 \text{ kW}$ při 4000 ot./min

Maximální krouticí moment:

 $M_{\max} = 320 \text{ Nm}$ při 1750-2500 ot./min

Obr. 34 Momentová a výkonová charakteristika motoru 2.0 TDI PD DPF/103 kW [14]

6.2.1 Výpočet odpor. sil automobilu s motorem 2.0 TDI PD DPF/103 kW

Tento bod je věnován výpočtu valivého a vzdušného odporu. Jiné odpory jsou zde zanedbány z důvodu jízdy vozidla po rovině. Výsledné křivky, které jsou znázorněny v grafu jsou vizuálně stejné s grafem, který je zobrazen v úloze 6.1.1 až na to, že při výpočtu valení byla použita jiná hodnota hmotnosti automobilu. Hmotnost automobilu s motorem 2.0 TDI PD DPF/103 kW je přibližně o 70 kg vyšší.

Zadané Hodnoty:

- | | |
|---|----------------------------------|
| - Pohotovostní hmotnost vozidla s řidičem | $m = 1547 \text{ kg}$ |
| - Součinitel odporu valení | $\mu_v = 0,015$ |
| - Součinitel aerodynamického odporu | $\mu_a = 0,29$ |
| - Tíhové zrychlení | $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ |
| - Čelní průřez automobilu | $S_a = 2,656 \text{ m}^2$ |
| - Hustota vzduchu | $\rho_{vz} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ |
| - Vymezení rychlosti | $v = 8,9..200 \text{ km/h}$ |

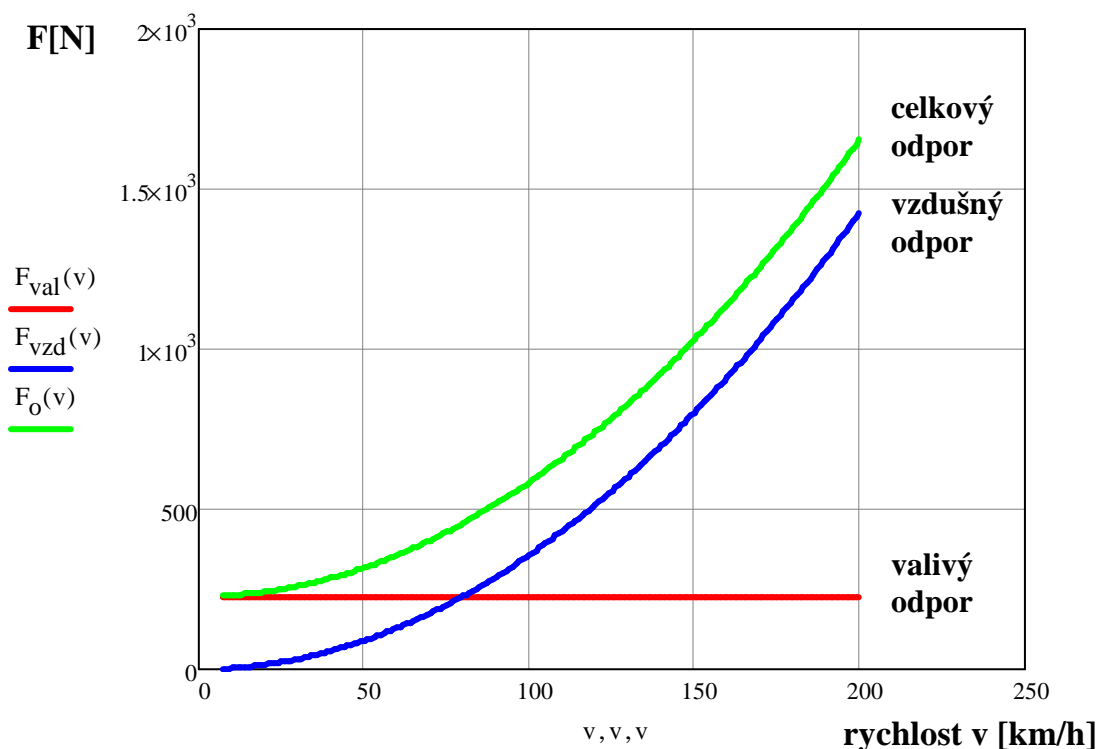
Odpor valení

$$F_{val}(v) = G \cdot \mu_v = m \cdot g \cdot \mu_v$$

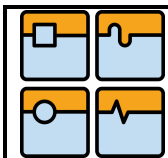
Odpor vzdušný

$$F_{vzd}(v) = \left[\frac{1}{2} S_a \cdot \left(\frac{v}{3,6} \right)^2 \cdot \rho_{vz} \cdot \mu_a \right]$$

Výsledné odpory jsou opět sečteny. $\rightarrow F_o(v) = F_{val}(v) + F_{vzd}(v)$



Obr. 35 Odporová charakteristika automobilu s motorem 2.0 TDI PD DPF/103 kW



6.2.2 Výpočet hnací síly automobilu s motorem 2.0 TDI PD DPF/103 kW

Hnací síly motoru jsou vypočítány z vnější rychlostní charakteristiky momentu motoru, tzn. , že jsou to průběhy maximálních hnacích sil („plný plyn“) pro jednotlivé rychlostní stupně. [6]

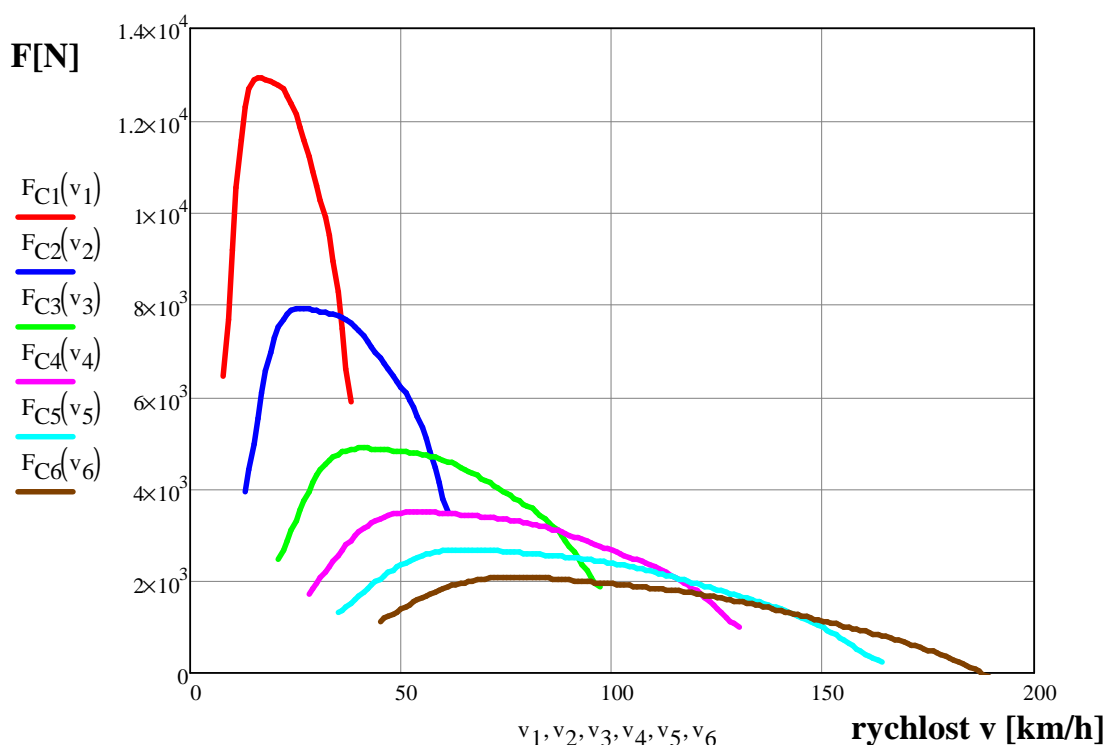
Zadané hodnoty:

- účinnost celého převodového ústrojí je: $\eta_c = 0,8847$ [14]

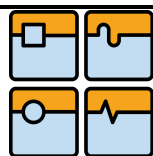
Při výpočtu hnací síly bylo opět využito základního vzorce $F_K = \frac{M_K}{r}$ [6], kde K je stupeň zařazené rychlosti, pak $F_K(v_K) = \frac{M_{mK}(v_K) \cdot p_{pK} \cdot p_{rK} \cdot P_d \cdot \eta_c}{r}$, přičemž p_{pK} je převod právě zařazený v převodovce, p_{rK} je stálý převod rozvodovky k danému stupni, P_d je převod diferenciálu a η_c je celková mechanická účinnost soustavy. Následně byl proveden výpočet pro všechny jednotlivé převodové stupně převodovky v závislosti na $F_K = f(v)$, od kterých byly odečteny vypočtené odporové síly z předchozího bodu. Výsledný graf rychlostní charakteristiky motoru je vyobrazen na obr. 35. Z výsledných křivek je patrné, že hnací síla motoru je mnohem vyšší a to zejména při rozjezdu automobilu, jelikož tento vznětový motor pracuje s mnohem vyšším kroutícím momentem a menším rozsahem otáček než zážehový motor 1.4 TSI/92 kW.

Výpočet celkové hnací síly:

$$F_{CK}(v_K) = F_K(v_K) - F_O(v_K)$$



Obr.36 Rychlostní charakteristika sil motoru 2.0 TDI PD DPF/103 kW



6.2.3 Výpočet zrychlení automobilu s motorem 2.0 TDI PD DPF/103 kW

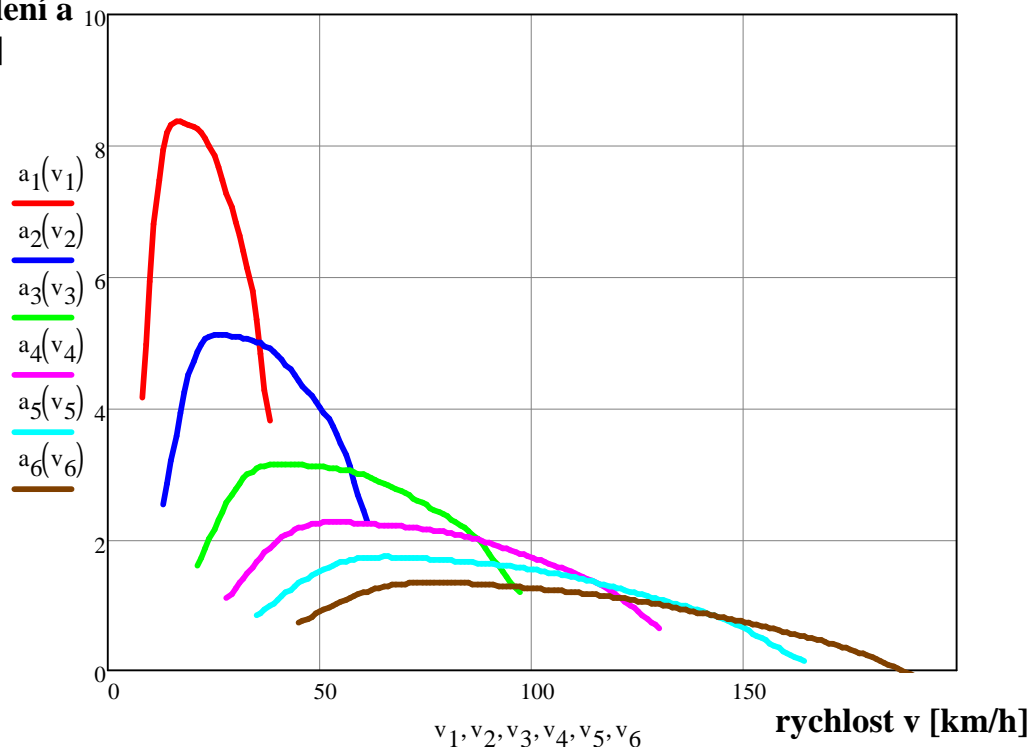
Při výpočtu je opět vycházeno ze základního vzorce pro výpočet síly $F = m \cdot a$ [5]. Tažná síla F , která se mění v závislosti na rychlosti je vypočtena v minulém bodu. Hmotnost automobilu je zadána. Proto byl využit tento vzorec k výpočtu zrychlení pro jednotlivé převodové stupně.

Zrychlení automobilu:

$$F = m \cdot a \Rightarrow a_K(v_K) = \frac{F_{CK}(v_K)}{m}, \text{ kde } K \text{ je stupeň zařazené rychlosti}$$

Z grafu rychlostní charakteristiky zrychlení pro tento vznětový motor je patrné, že motor pracuje s mnohem větším zrychlením při rozjezdu automobilu než předchozí zážehový motor. Se zvyšující se rychlostí automobilu se tento rozdíl vyrovnává a je v podstatě stejný.

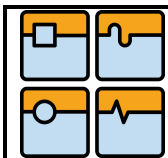
zrychlení a
[m·s⁻²]



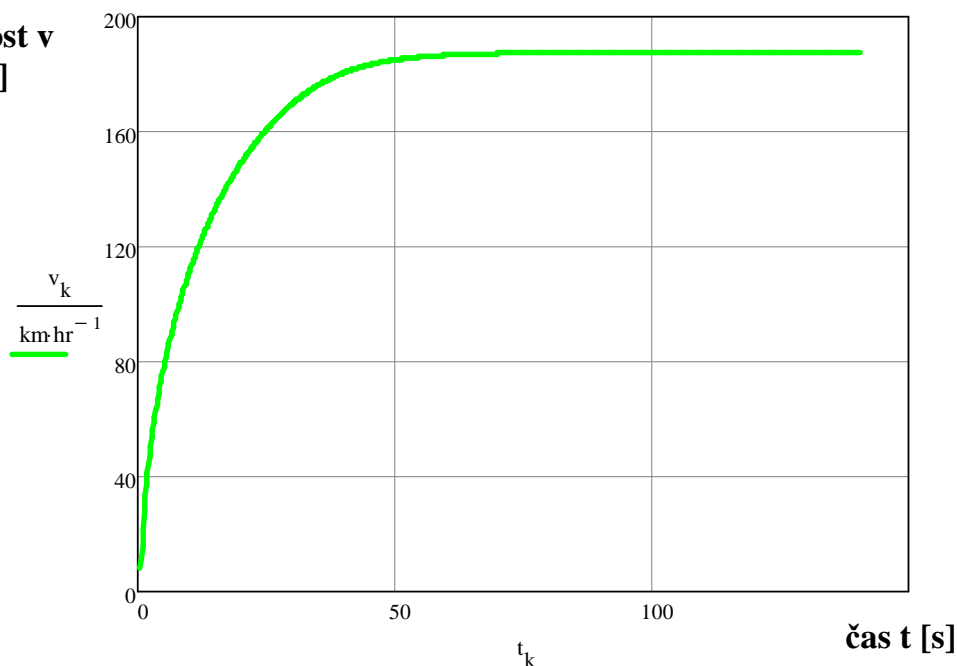
Obr.37 Rychlostní char. zrychlení automobilu s motorem 2.0 TDI PD DPF/103 kW

6.2.4 Časový průběh rychlosti automobilu při rozjezdu

Časový průběh rychlosti vozidla při rozjezdu je u motoru 2.0 TDI PD DPF/103 kW v podstatě stejný. Malé rozdíly by byly patrné, pokud by oba motory byly vyneseny v jednom grafu. Vliv poklesu rychlosti jízdy Δv při řazení jednotlivých převodových stupňů je při výpočtu zanedbán.



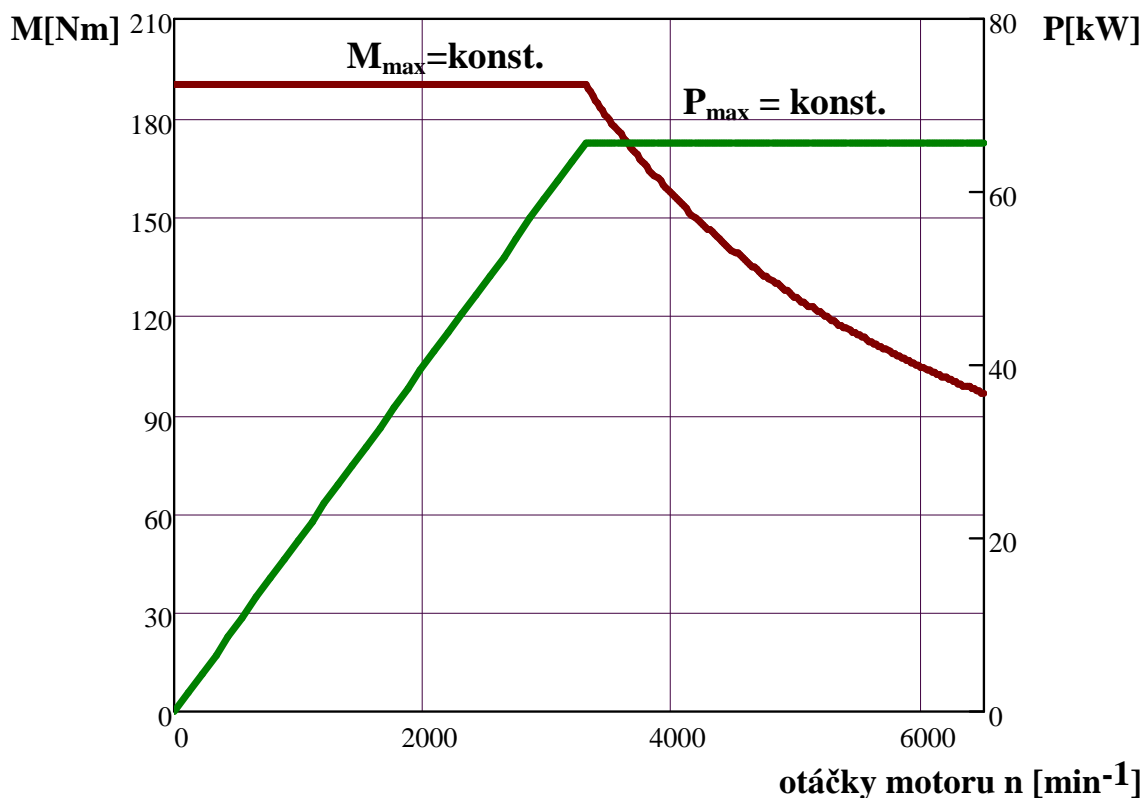
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

rychlost v
[km/h]

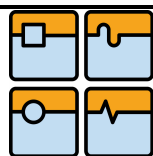
Obr. 38 Časový průběh rychlosti aut. při rozjezdu s motorem 2.0 TDI PD DPF/103 kW

6.3 VÝPOČET DYNAMIKY ELEKTROMOTORU

Maximální výkon: $P_{\max} = 65 \text{ kW}$ při 3300-6500 ot./min
Jmenovitý krouticí moment: $M_{\text{mot}} = 90 \text{ Nm}$
Maximální krouticí moment: $M_{\max} = 190 \text{ Nm}$ při 0-3300 ot./min



Obr. 39 Momentová a výkonová charakteristika elektromotoru [14]



6.3.1 Výpočet odporových sil automobilu s elektromotorem

Tento bod se zabývá výpočtem valivého a vzdušného odporu elektromotoru. Hodnoty pro výpočet valivého a vzdušného odporu jsou stejné, kromě hmotnosti automobilu m , která je jiná pro všechny typy motorů. Jiné odpory jsou zde opět zanedbány z důvodu jízdy vozidla po rovině. Odporové síly jsou vypočítány v závislosti na rychlosti automobilu. Z grafu je patrné, že valivý odpor se v závislosti na rychlosti nemění a je tedy konstantní. Jiné to je však u vzdušného odporu, kde při nízké rychlosti není vzdušný odpor tak vysoký. Naopak se zvyšující se rychlostí přesahující 100 km/h odpor razantně stoupá.

Zadané Hodnoty:

- | | | |
|---|-------------|---------------------------|
| - Pohotovostní hmotnost vozidla s řidičem | m | $= 1520 \text{ kg}$ |
| - Součinitel odporu valení | μ_v | $= 0,015$ |
| - Součinitel aerodynamického odporu | μ_a | $= 0,29$ |
| - Tíhové zrychlení | g | $= 9,81 \text{ m/s}^2$ |
| - Čelní průřez automobilu | S_a | $= 2,656 \text{ m}^2$ |
| - Hustota vzduchu | ρ_{vz} | $= 1,2 \text{ kg/m}^3$ |
| - Vymezení rychlosti | v | $= 0,1..180 \text{ km/h}$ |

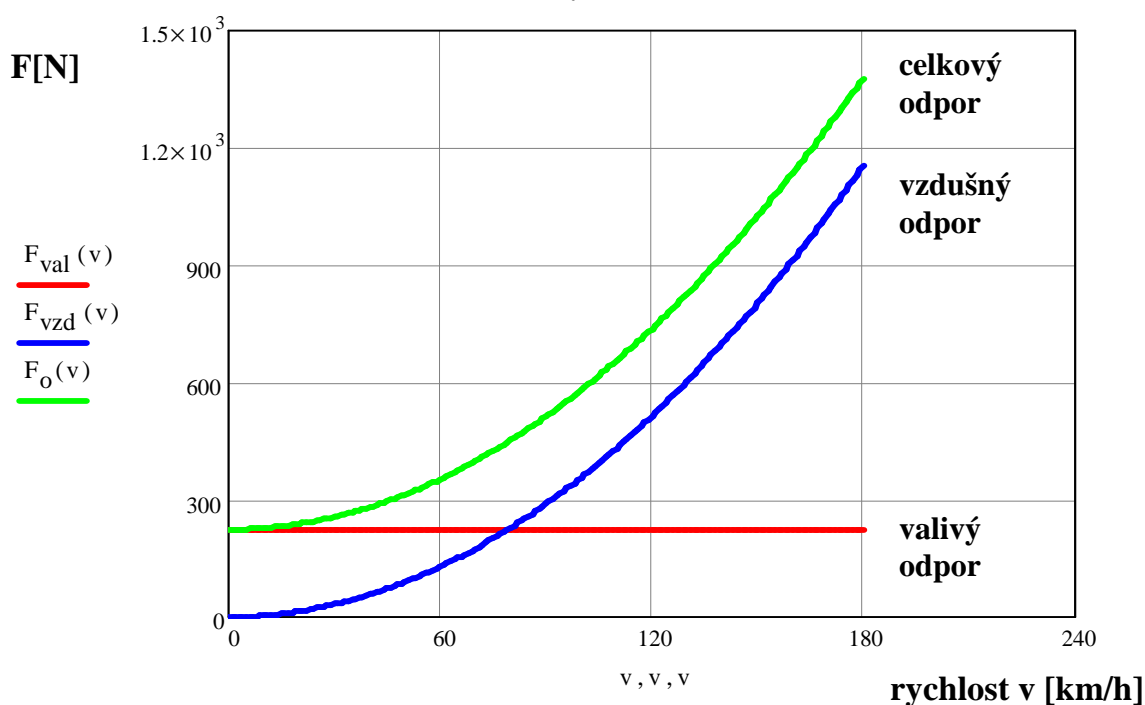
Odpor valení

$$F_{val}(v) = G \cdot \mu_v = m \cdot g \cdot \mu_v$$

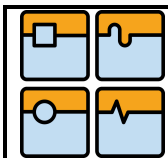
Odpor vzdušný

$$F_{vzd}(v) = \left[\frac{1}{2} S_a \cdot \left(\frac{v}{3,6} \right)^2 \cdot \rho_{vz} \cdot \mu_a \right]$$

$$\text{Výsledný odpor: } \rightarrow F_O(v) = F_{val}(v) + F_{vzd}(v)$$



Obr. 40 Odporová charakteristika automobilu s elektromotorem



6.3.2 Výpočet hnací síly automobilu s elektromotorem

Hnací síly motoru jsou vypočítány z vnější rychlostní charakteristiky momentu motoru, tzn. , že jsou to průběhy maximálních hnacích sil („plný plyn“) pro jednotlivé rychlostní stupně. [6]

Zadané hodnoty:

- účinnost celého převodového ústrojí je: $\eta_c = 0,8847$ [14]

Při výpočtu hnací síly automobilu s elektromotorem je postupováno stejným způsobem jako u předešlých dvou typů motorů. Opět je vycházeno ze vzorce pro výpočet

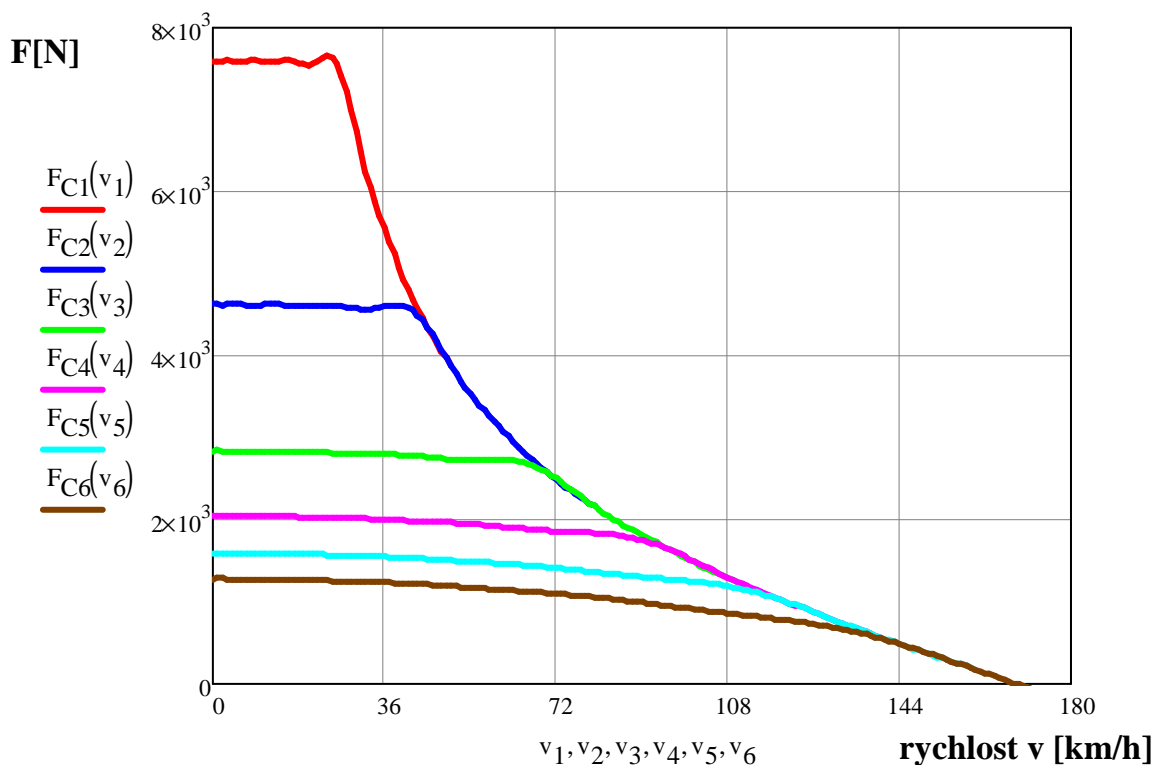
hnací síly z momentové charakteristiky motoru $F_K = \frac{M_K}{r}$ [6], kde K je stupeň zařazené

rychlosti. Pak $F_K(v_K) = \frac{M_{mK}(v_K) \cdot p_{pK} \cdot p_{rK} \cdot P_d \cdot \eta_c}{r}$, přičemž p_{pK} je převod právě

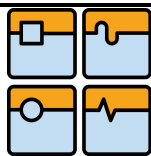
zařazený v převodovce, p_{rK} je stálý převod rozvodovky k danému stupni, P_d je převod diferenciálu a η_c je celková mechanická účinnost soustavy. Po tomto výpočtu hnací síly motoru jsou odečteny odporové síly působící na automobil při jízdě. Z následného obr. 40 je vidět, že hnací síla elektromotoru je nejvyšší ihned po sešlápnutí akceleračního pedálu, kde je k dispozici po určitou dobu maximální kroutící moment.

Výpočet celkové hnací síly:

$$F_{CK}(v_K) = F_K(v_K) - F_O(v_K)$$



Obr. 41 Rychlostní charakteristika sil elektromotoru

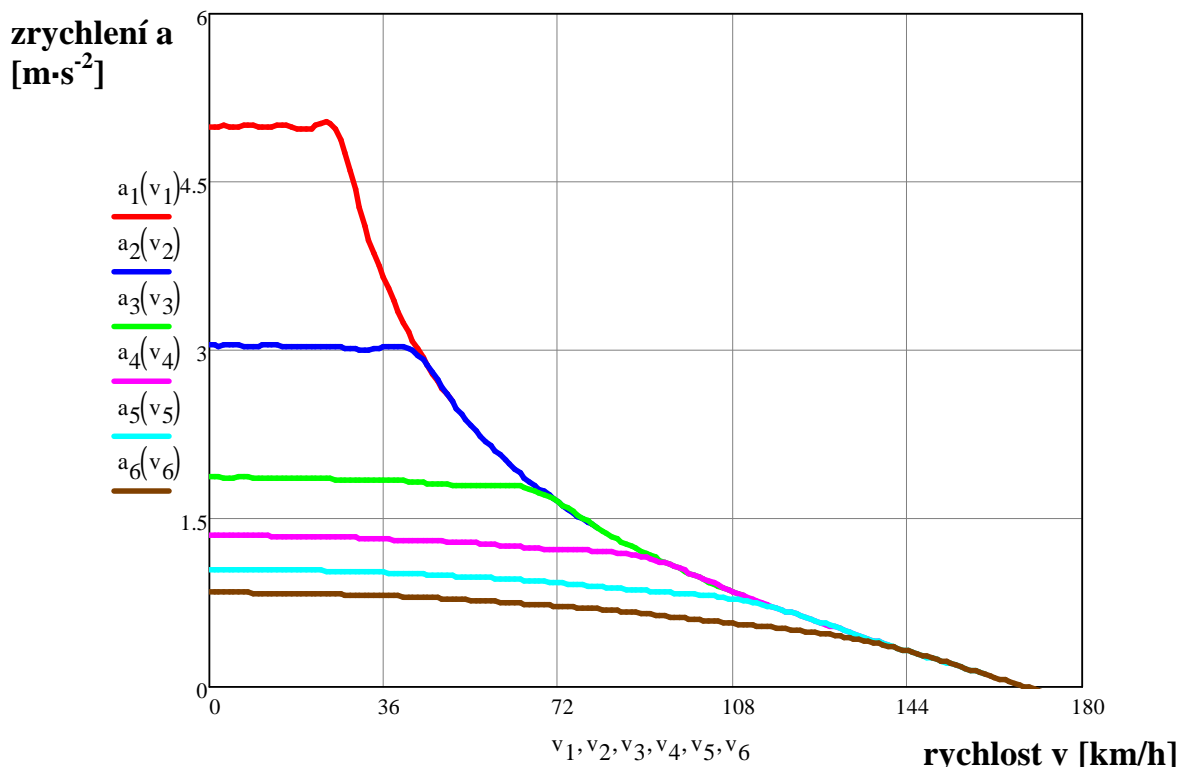


6.3.3 Výpočet zrychlení automobilu s elektromotorem

Postup výpočtu je opět stejný jako v bodu 6.1.3 a 6.2.3. Je vycházeno ze základního vzorce pro výpočet síly $F = m \cdot a$ [5]. Tažná síla F je vypočtena v předchozím bodu 6.3.2 a hmotnost automobilu je zadána. Následně je proveden výpočet zrychlení pro jednotlivé převodové stupně.

Zrychlení automobilu:

$$F = m \cdot a \Rightarrow a_K(v_K) = \frac{F_{CK}(v_K)}{m}, \text{ kde } K \text{ je stupeň zařazené rychlosti}$$

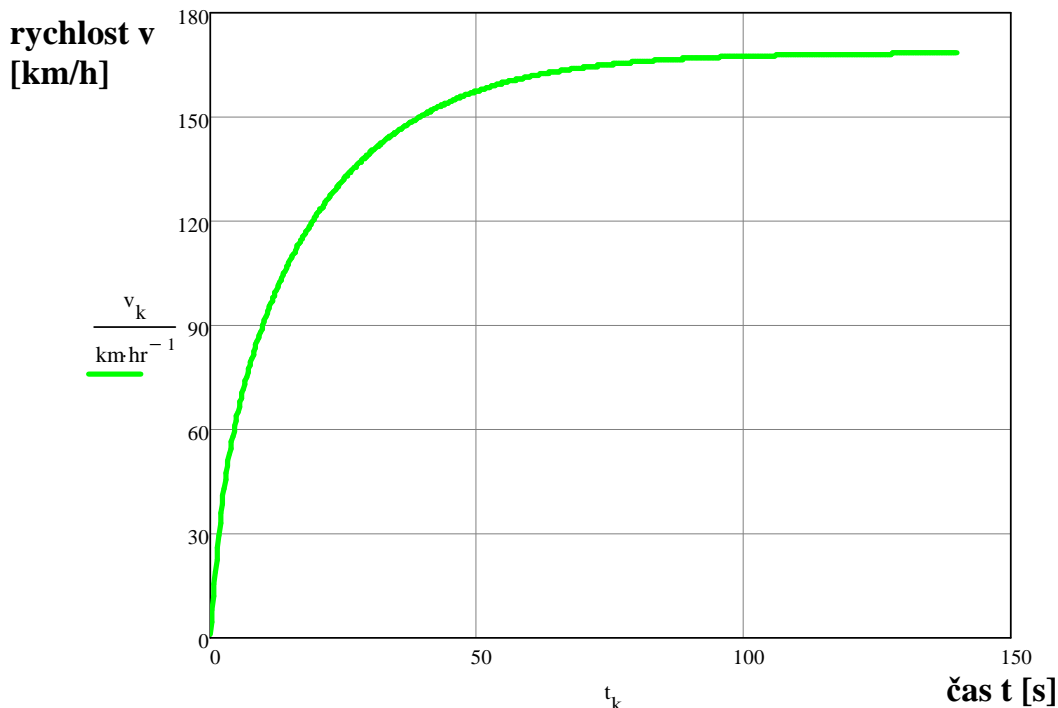
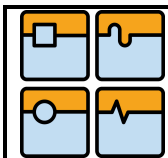


Obr. 42 Rychlostní charakteristika zrychlení automobilu s elektromotorem

Jak je vidět z této charakteristiky, tak automobil s elektromotorem využívá ihned při svém rozjezdu maximálního zrychlení, které je po určitou dobu konstantní. Tím se elektromotor liší od zážehového a vznětového motoru, kde se zrychlení zvyšuje postupně do maximální hodnoty. Elektromotor tedy dává automobilu lepší počáteční rozjezd, ale se zvyšující se rychlostí už není schopen tolik konkurovat zážehovému a vznětovému motoru, které jsou uvedeny v bodech 6.1 a 6.2.

6.3.4 Časový průběh rychlosti automobilu při rozjezdu

Na obr. 43 je časový průběh rychlosti automobilu při rozjezdu, tentokrát pro elektromotor. Vliv poklesu rychlosti jízdy Δv při řazení jednotlivých převodových stupňů je zanedbán a to z důvodu, který je uveden v bodu 6.1.4. Časový průběh rychlosti je pro elektromotor poněkud jiný, protože automobil s elektromotorem nedosahuje tak vysoké rychlosti jízdy. Porovnání všech třech typů motorů, které jsou v této práci řešeny, je uvedeno v následujícím bodu.

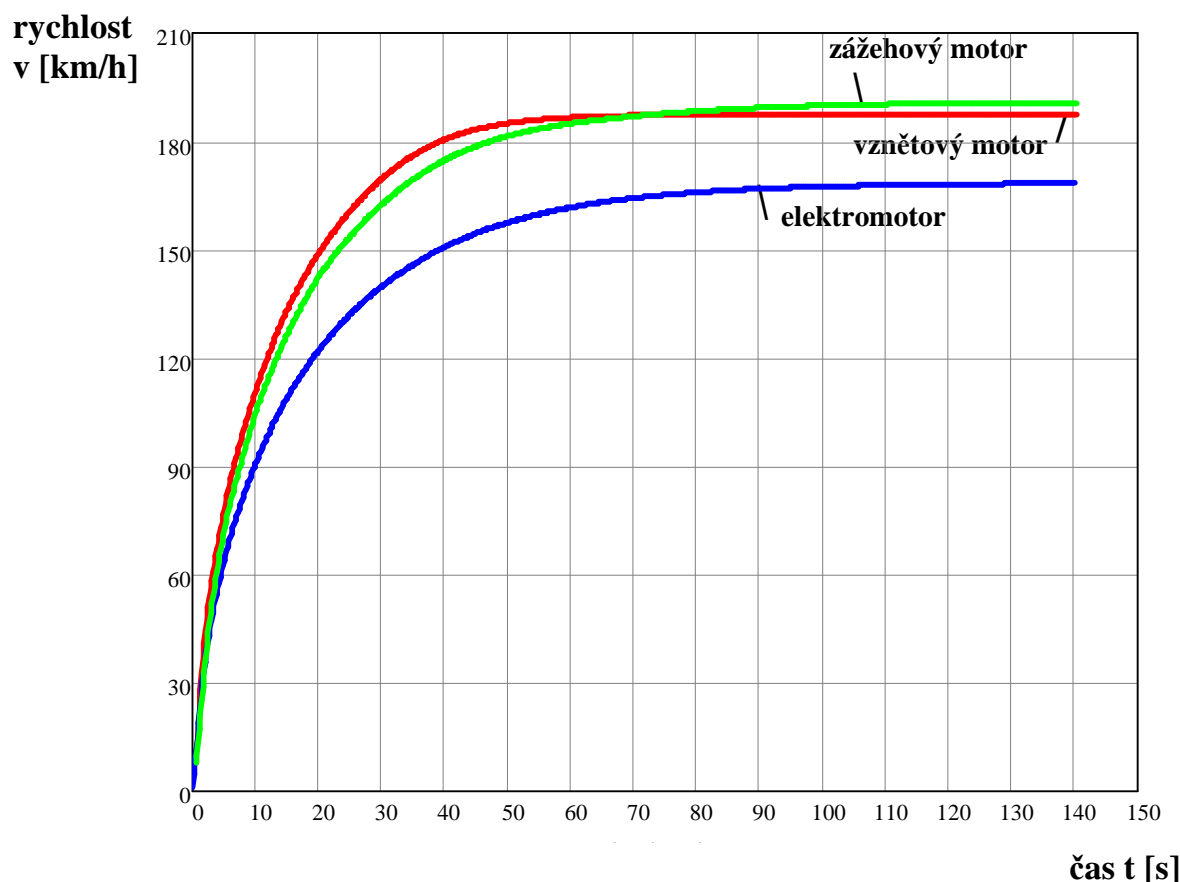
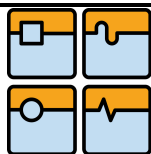


Obr.43 Časový průběh rychlosti automobilu při rozjezdu s elektromotorem

6.4 POROVNÁNÍ VŠECH TŘÍ TYPŮ MOTORŮ

Porovnání zážehového motoru 1.4 TSI/92 kW, vznětového motoru 2.0 TDI PD DPF/103 kW a elektromotoru je znázorněno na obr. 44. K znázornění všech motorů je využito časového průběhu rychlosti automobilu při rozjezdu, kde je pěkně vidět, jak jsou jednotlivé motory schopny dosáhnout maximální rychlosti při stejném časovém úseku. Zážehový motor 1.4 TSI/92 kW je v obrázku vynesena zelenou křivkou, vznětový motor 2.0 TDI PD DPF/103 kW červenou křivkou a elektromotor modrou křivkou.

Vznětový motor disponuje nejvyšším kroutícím momentem ze všech třech motorů a proto tento motor pracuje s nejlepším průběhem rychlosti. Ovšem při vysoké rychlosti se mu vyrovnává a dokonce překonává co do rychlosti zážehový motor, jak je vidět z obr. 44. To je zapříčiněno tím, že vznětový motor je opatřen filtrem pevných částic (DPF), který snižuje výkon motoru a proto automobil nedosahuje tak vysoké rychlosti. Zážehový motor 1.4 TSI/92 kW je tedy schopný konkurovat dvoulitrovému vznětovému motoru a to jak dosažitelnou rychlostí, tak i zrychlením z nuly na 100 km/h. Z grafu je vidět, že oba spalovací motory dosáhnou rychlosti 100 km/h téměř za stejný časový úsek. Elektromotor, který je zobrazen modrou křivkou disponuje při rozjezdu automobilu lepším zrychlením než oba dva spalovací motory, protože využívá ihned po sešlápnutí akcelérátoru maximálního kroutícího momentu. Rychlosti 100 km/h dosáhne elektromotor přibližně o 3,5 sec později než oba spalovací motory. I když má elektromotor přibližně o jednu třetinu menší výkon než zážehový a vznětový motor je schopen jím zejména při jízdě do 100 km/h za hodinu konkurovat. Při vyšších rychlostech přesahující rychlost 100 km/h už ale mají navrch výkonnější spalovací motory. Rozdíl ale není tak velký, jak by se zpoza zdálo. Oba spalovací motory překonávají elektromotor co do rychlosti přibližně o 20 až 30 km/h, jak je vidět z přiloženého obrázku.



Obr. 44 Časový průběh rychlosti automobilu při rozjezdu všech třech motorů

Závěrem můžeme říci, že i když je elektromotor přibližně o jednu třetinu slabší, co se týče výkonu, je v uvozovkách dobrým konkurentem těchto spalovacích motorů. Nejvyšší výhoda je pak až v porovnání ceny paliva (nafty nebo benzínu), u elektromotoru (elektrické energie) na ujetý kilometr. Tady je rozdíl markantní a se zvyšující se cenou fosilních paliv nejspíš poroste.

7. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zmapovat historický vývoj elektromobilů od jejich počátků až po současnost. V praktické části této práce bylo cílem porovnání dynamických a kinematických vlastností elektromobilu a automobilu se zážehovým nebo vznětovým motorem. Po dohodě s vedoucím mé bakalářské práce byla práce zaměřena pouze na porovnání dynamických vlastností elektromobilu a automobilu se zážehovým nebo vznětovým motorem. Automobil zvolený pro výpočet všech třech typů motorů byl Škoda Superb. Aby byla zaručena maximální porovnatelnost, byl použit jeden typ převodovky pro všechny tři typy motorů.

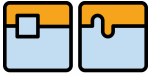
Prvním motorem, který byl zpracován pro porovnání dynamických vlastností byl zážehový motor 1.4 TSI/92 kW. Navzdory svému nízkému zdvihovému objemu 1,4 litru byl tento motor po provedení všech dynamických výpočtů ohodnocen za velmi dobrý. Před samotným výpočtem nebylo očekáváno, že tento motor by mohl vykazovat tak dobrého výsledku. Díky přeplňovanému turbodmychadlu dosahuje na svoji kubaturu slušného výkonu.

Jako druhý motor byl zpracován vznětový motor 2.0 TDI PD DPF/103 kW. Při výpočtu dynamických vlastností bylo od začátku patrné, že se jedná o motor s největším kroutícím momentem, ze všech tří porovnávaných motorů. Motor byl vybaven filtrem pevných částic (DPF), který má za následek snížení výkonu motoru. Po provedení všech výpočtů bylo zjištěno, že motor s touto úpravou nedosahuje takových hodnot, jako by se u motoru s takovouto kubaturou očekávalo.


Poslední motor, který tu ještě nebyl zmíněn a se kterým byly porovnávány oba dva spalovací motory je elektromotor o maximálním výkonu 65 kW. Elektromotor taktéž prošel stejným výpočtem dynamických vlastností jako předešlé dva motory. V průběhu výpočtu bylo patrné, že se jedná o motor, který disponuje jiným kroutícím momentem než spalovací motory. Kroutící moment elektromotoru dosahoval maximálního kroutícího momentu ihned po sešlápnutí akcelérátoru. S touto výhodou byl rozjezd elektromobilu o malinko lepší, i když byl jeho výkon o třetinu nižší jak u spalovacích motorů.

Závěrečné porovnání všech tří motorů ukázalo, že spalovací motory zatím převyšují námi zvolený elektromotor, co se týče maximální výše dosažitelné rychlosti a ujetí mnohem více kilometrů na plnou nádrž. Bylo však zjištěno, že elektromotor byl schopen jak zážehovému, tak vznětovému motoru konkurovat při rozjezdu vozu, i když nebyl schopen dosáhnout takového výkonu, jak zážehový nebo vznětový motor. Tento rozdíl ve výkonu se projevil zejména při vyšších rychlostech.

Výhody nebo-li přednosti elektromobilů jsou nesporné. Nízké provozní náklady, ekologický provoz a z toho plynoucí využití obnovitelného zdroje energie s vysokou účinností, absence hluku atd. V současné době jsou stále pořizovací náklady příliš vysoké, jelikož počet vyrobených elektromobilů není velký. Jsou už ale předpoklady, že automobil tohoto typu by mohl být vyráběn i sériově, takže by cena elektromobilu mohla jít výrazně dolů. K tomu by také mohla přispět i větší podpora ze strany státu, která je v dnešní době mizivá. Uvidíme co nám budoucnost přinese, ale myslím si, že je to určitě krok správným směrem.

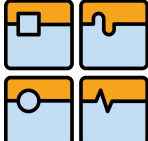
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 45
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Tato práce neměla za úkol řešit a porovnávat aktuální spotřebu motorů, proto by bylo vhodné, aby na tuto práci navázala studie průběhu spotřeb. Je možno provést studii porovnání spotřeb jak spalovacích motorů a tak i elektromotoru. Nebo jen elektromotoru a následně optimalizovat s zařazenými převodovými stupni převodovky a navrhnout vhodný konstantní převod nebo řaditelnou převodovku pro daný elektromobil.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 46
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VEGR, Jaromír. Elektromobily - historie a současnost. PRO-ENERGY magazín. 2008,3/2008, s. 44-50. Dostupný také z WWW: <<http://www.pro-energy.cz/clanky7/3.pdf>>.
- [2] MARUŠINEC, Jaromír. *Elektromobily.org* [online]. 2009 [cit. 2011-04-27]. Elektromobily minulosti a budoucnosti. Dostupné z WWW: <http://www.elektromobily.org/w/images/6/6e/Elektromobily_minulosti_a_budoucnosti_v04_CZ.ppt>
- [3] KOPECKÝ, Ladislav. Reluktanční motor a elektromobil. 2008, Dostupný z WWW: http://www.elektromobily.org/w/images/a/ad/Reluktancni_motor_Kopecky.pdf
- [4] MAREK, Jiří . *Konstrukce CNC obráběcích strojů : MM průmyslové spektrum - speciální vydání*. MM publishing Praha, 2006. 284 s. ISSN1212-2572.
- [5] D. Halliday – R. Resnick – J. Walker.: Fyzika, Druhý dotisk 1. českého vydání, 2006, Vysoké učení technické v Brně, Nakladatelství VUTIUM, SBN 80-214-1868-0
- [6] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 1. vydání. Brno : Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000. 434 s. ISBN 80-238-5273-6.
- [7] *Liaz.cz* [online]. 2004 [cit. 2011-04-27]. Elektromobil Liaz 01.02 XGJ. Dostupné z WWW: <<http://www.liaz.cz/elektromobil.php>>.
- [8] *Electroauto.cz* [online]. 2005 [cit. 2011-04-27]. Elektromobil Tatra (Škoda) BETA EL. Dostupné z WWW: <http://www.electroauto.cz/tech_parametry_cars.html>.
- [9] *Teslamotors.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.teslamotors.com>>.
- [10] *Cidanews.com* [online]. 2009 [cit. 2011-04-27]. General Motors EV1. Dostupné z WWW: <<http://cidanews.com/electric-car-homicide/>>.
- [11] *Pureenergysystems.com* [online]. 2004-08-24 [cit. 2011-04-27]. Elektromobil Ford TH!NK. Dostupné z WWW: <http://www.pureenergysystems.com/news/2004/08/24/6900037_Ford_Crushing_Clean_Cars/index.html>.
- [12] *Autoclub.com* [online]. 2005 [cit. 2011-03-25]. Dostupné z WWW: <www.autoclub.com.au/uploaded_images/venturi-fetish-2005-784925.jpg>.
- [13] *Pricetrades.com* [online]. c2010 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.pricetrades.com/cars/2011-tesla-roadster-2-5-price-in-us/>>.
- [14] Technické materiály poskytnuty firmou EVC Group s.r.o., www.evcgroup.cz

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 47
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [15] *Bmw.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.bmw.com/com/en/newvehicles/1series/activee/2011/showroom/index.html>>.
- [16] *Auto.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz>>.
- [17] *Elektromobily.org* [online]. 2010 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <www.elektromobily.org/w/images/7/7b/SUPERBEL_v02.ppt>.
- [18] *Msvblog.bvv.cz* : Na VUT představili Superb na elektromobil [online]. 2010-08-31 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://msvblog.bvv.cz/prestavili-superb-na-elektromobil>>.
- [19] SCHOLTZOVÁ, Jiřina . *Aldebaran.cz* [online]. 2010-04-09 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <http://www.aldebaran.cz/bulletin/2010_24_aut.php>.
- [20] *Elektromobily.org* [online]. 2010 [cit. 2011-04-27]. Dobíjení pro elektromobil. Dostupné z WWW: <http://www.elektromobily.org/wiki/Mapy_nab%C3%ADjec%C3%ADch_stanic>.
- [21] *Asportal.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-04-27]. Vývoj pohonných akumulátorů. Dostupné z WWW: <http://www.asportal.cz/chrudim/recenze/vyvoj_pohonnych_akumulatoru.html>.
- [22] *Electroauto.cz* [online]. 2005 [cit. 2011-04-27]. Elektromobil CLEANOVA II. Dostupné z WWW: <<http://www.electroauto.cz/cleanova.html>>.
- [23] *Wikipedia.org* [online]. 2011 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>>.

9. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Jednotka	Legenda
Latinská abeceda		
a	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$	Zrychlení automobilu
AC měnič	[-]	Asynchronní měnič
BLDC	[-]	Stejnoseměrný motor s elektronickou komutací
Cd	[-]	Kadmium
ČR	[-]	Česká republika
d	[m]	Průměr kola
F_{CK}	[N]	Celková tažná síla po odečtení celkové odporové síly
F_K	[N]	Tažná síla motoru
F_O	[N]	Celkový odpor
F_{val}	[N]	Odpor valení
F_{vzd}	[N]	Odpor vzdušný
g	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$	Tíhové zrychlení
GM	[-]	General motors
K	[-]	Stupeň zařazené rychlosti
LiFeMgPO ₄	[-]	Lithium-železo-hořčík-fosfátový akumulátor
LiFePO ₄	[-]	Lithium-železo-fosfátový akumulátor
LiFeYPO ₄	[-]	Lithium-železo-Yttrium-fosfátový akumulátor
Li-Ion	[-]	Lithium-iontový akumulátor
Li-Pol	[-]	Lithium-polymerový akumulátor
m	[kg]	Pohotovostní hmotnost automobilu s řidičem
M_K	[N]	Kroutící moment
M_{max}	[Nm]	Maximální kroutící moment
M_{mot}	[Nm]	Jmenovitý kroutící moment
n	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky motoru
Ni	[-]	Nikl
Ni-Cd	[-]	Nikl-kadmiový akumulátor
Ni-MH	[-]	Nikl-metal hydridový akumulátor
P_d	[-]	Převod diferenciálu
P_{max}	[kW]	Maximální výkon

p_{p1}	[-]	Převodový poměr I
p_{p2}	[-]	Převodový poměr II
p_{p3}	[-]	Převodový poměr III
p_{p4}	[-]	Převodový poměr IV
p_{p5}	[-]	Převodový poměr V
p_{p6}	[-]	Převodový poměr VI
p_{r1}	[-]	Stálý převod rozvodovky k danému stupni
p_{r2}	[-]	Stálý převod rozvodovky k danému stupni
p_{r3}	[-]	Stálý převod rozvodovky k danému stupni
p_{r4}	[-]	Stálý převod rozvodovky k danému stupni
p_{r5}	[-]	Stálý převod rozvodovky k danému stupni
p_{r6}	[-]	Stálý převod rozvodovky k danému stupni
PWM	[-]	Šířková pulzní modulace
r	[m]	Poloměr kola
S_a	[m ²]	Čelní průřez automobilu
ÚVMV	[-]	Ústav pro výzkum motorových vozidel
v	[m·s ⁻¹]	Rychlost automobilu
VÚES	[-]	Výzkumný ústav elektrických strojů
VUT	[-]	Vysoké učení technické
Řecká abeceda		
η_C	[-]	Celková mechanická účinnost soustavy
η_L	[-]	Účinnost hřídele uložené ve dvou kuličkových ložiscích
η_P	[-]	Účinnost ozubeného převodu
μ_a	[-]	Součinitel aerodynamického odporu
μ_v	[-]	Součinitel odporu valení
ρ_{vz}	[kg·m ⁻³]	Hustota vzduchu